

République Algérienne Démocratique et Populaire

الشعبية الديمقراطية الجزائرية الجمهورية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ecole Nationale Supérieure Agronomique

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة

Département : **Génie Rural**

*Thèse présentée pour l'obtention du diplôme de doctorat en sciences
agronomiques*

**Conception et mise en œuvre d'une démarche d'ingénierie en
appui aux innovations des acteurs locaux : cas du pivot
d'irrigation artisanal dans le Souf (Sahara Algérien)**

Présenté par OULD REBAI Abdelkrim

Directeur de thèse : Pr. HARTANI T.

Co-directeur de thèse : Pr. CHABACA M.N.

Devant le Jury composé de:

MEKLOCHE A.	Maîtres de conférences classe A, ENSA, Alger	Président
DAOUDI A.	Professeur, ENSA, Alger	Examineur
BOUARFA S.	Directeur de recherche, IRSTEAD, Montpellier	Examineur
KUPER M.	Directeur de recherche, CIRAD, Montpellier	Invité
Molle B.	Ingénieur de de recherche, IRSTEAD, Montpellier	Invité

Année universitaire : 2019-2020

Remerciements

Je remercie, avant tout, ALLAH Tout Grand et Tout Puissant, qui m'a donné la force la santé et le courage et qui m'a permis la réalisation et la finalisation de ce travail.

Je tiens d'abord à exprimer mes parfaites reconnaissances à mes parents qui m'ont encouragé et soutenu pour réaliser cette thèse.

Je tiens à exprimer mes profonds remerciements à mes directeurs de thèses Pr. Hartani Tarik et Pr. Chabaca Mohamed Nacer, ainsi qu'à mon encadrant Pr. Kuper Marcel, pour leur suivi, pour leurs précieux, fructueux et judicieux conseils ainsi que pour tous les efforts qu'ils ont déployés pour aiguïser ma curiosité scientifique et la concrétisation de cette thèse.

Mes remerciements vont aussi aux membres de jury ; Dr. Mekliche Arezki qui m'a fait l'honneur d'accepter de présider le jury, le Pr. Daoudi Ali et Pr. Bouarfa Sami qui ont accepté d'examiner ce travail.

Le présent travail est le fruit d'une collaboration avec de nombreux chercheurs et ingénieurs de différents laboratoires (UMR G-Eau, MEA de l'ENSA, LCCTEI de l'INSID) je les remercie tous. Je remercie en particulier Dr. Bruno Molle, chercheur à l'IRSTEA, pour l'intérêt qu'il m'a apporté et pour ses précieux conseils ainsi que mes ex collègues, l'équipe du laboratoire de l'INSID, qui m'ont aidé lors de la réalisation des essais de comportement.

Que tous ceux et celles qui m'ont aidé de près ou de loin trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude et reconnaissance.

Abdelkrim

إهداء

أهدي بحثي هذا :

الى من قال الله تعالى فيهما " و أخفض لهما جناح الذل من الرحمة و قل ربي ارحمهما كما ربياني صغيرا "

اللذان طالما حلما أن يبصرا نجاحي و أخذوا بيدي ووفروا لي سبيل التعلم و قدما لي الدعم اللازم " والدي رحمك الله، والدي حفظك الله و أسأل الله الرحمن الرحيم أن يجعل هذا العمل في ميزان حسناتكما و أن يكون صدقة جارية تنفعكما "

الى أخي عادل و زوجته و أخواتي : أمال، صابرينة و أسماء و كل أفراد العائلة

الى من تتلمذت علي أيادهم، وإلى من أمدوني بنصائحهم و توجيهاتهم

" أسأتذتي جزاكم الله خيرا و من علمنا و كل من كان له فضل علينا "

ولد ربي عبد الكريم

Table des matières

I.	CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE.....	1
I.1	Avant-propos : une trajectoire professionnelle invitant à interroger la posture de l'ingénieur	1
I.2	D'une curiosité d'un ingénieur-agronome à une réflexion scientifique	4
I.3	Question de recherche	8
I.4	Le Sahara, l'eau et les populations locales : une capacité à concevoir des dispositifs adaptés de captage et de mobilisation de l'eau.....	9
I.5	Réadaptation des dispositifs hydrauliques au nouveau contexte oasisien.....	12
I.6	Cadre d'analyse	13
I.7	Organisation de la thèse.....	17
II.	chapitre II : méthodologie et description de la zone d'étude	19
II.1	Méthodologie.....	19
II.1.1	Démarche de la thèse.....	19
II.1.2	Déroulement de l'approche	21
II.1.3	Présentation du laboratoire d'essais	26
II.1.4	Déroulement des essais au laboratoire	30
II.2	Description de la zone d'étude	36
II.2.1	Situation géographique et démographie	36
II.2.2	Souf : mythe et développement agraire.....	38
II.2.3	Relief	39
II.2.4	Climat	40
II.2.5	Ressources en sol et en eau : potentialité, mobilisation et irrigation	43
III.	Chapitre III : Le développement d'un bassin maraîcher irrigué par pivot artisanal dans le Souf : dépendance au marché' et stratégies d'adaptation.....	48
III.1	Introduction.....	48

III.2	Une agriculture insérée dans l'économie nationale animée par l'innovation endogène.....	50
III.2.1	Une agriculture diversifiée ancestrale	50
III.2.2	Une rupture dans les systèmes agraires.....	54
III.2.3	L'intervention de l'Etat pour promouvoir le développement agricole saharien	55
III.2.4	Les difficultés dans le dialogue état-agriculteurs.....	58
III.2.5	Développement d'un bassin maraîcher à travers des initiatives locales	61
III.3	Génération Ghout/dromadaire vs génération pivot artisanal/pomme de terre : antagonismes et modèles agricoles adoptés	64
III.3.1	Exploitations en continuité avec l'agriculture traditionnelle	65
III.3.2	Exploitations entrepreneuriales en rupture avec l'agriculture traditionnelle	69
III.3.3	L'hybridation des modèles d'agriculture	71
III.4	Le rôle des acteurs de la filière	81
III.5	Le nouveau système s'adapte et fait face à un nouveau défi du marché	88
III.5.1	Les stratégies agraires adaptées.....	89
III.5.2	Continuité avec l'ancienne stratégie et sans éventuelles manœuvres	89
III.5.3	L'entrepreneur agricole d'El Oued et la prise du risque, quel principal apprentissage de la crise ?.....	93
III.6	Conclusion	96
IV.	Chapitre IV: Une innovation incrémentielle : la conception et la diffusion d'un pivot d'irrigation artisanal dans le Souf (Sahara algérien).....	101
IV.1	Introduction.....	102
IV.2	Zone d'étude et méthodologie	103
IV.3	Résultats.....	106
IV.3.1	Co-conception du pivot artisanal : un processus d'innovation à partir des pivots conventionnels.....	106
IV.3.2	Fabrication du pivot artisanal : une innovation incrémentale grâce à un réseau dense et organisé d'alliés.....	107

IV.3.3	Diffusion du pivot et colonisation de nouveaux espaces agricoles	110
IV.4	Discussion et conclusion.....	113
V.	Chapitre V : Analyse de la performance d'irrigation du pivot artisanal	116
V.1	Introduction	116
V.2	Adaptation et mise au point du plan de busage au niveau des ateliers :.....	118
V.3	La performance <i>in situ</i>	121
V.3.1	Support cartographique un outil d'aide à l'appréciation de l'uniformité de distribution d'eau.....	121
V.3.2	Les réglages des agriculteurs-utilisateurs sur la parcelle influencent largement la performance.....	123
V.4	Caractérisation des organes d'arrosage 'microdiffuseurs'	124
V.4.1	Comportement débits-pression.....	124
V.4.2	Distribution pluviométrique	127
V.5	Simulation et voies d'amélioration de la performance hydraulique.....	131
V.5.1	Simulation de l'arroseur	131
V.5.2	Simulation du fonctionnement du pivot.....	133
V.5.3	Voies d'amélioration	135
V.6	Conclusion	143
VI.	Chapitre VI conclusion générale	145
VI.1	Pivot artisanal : réponse à une crise hydraulique et non pas à l'origine de la crise 145	
VI.2	L'initiative locale : co-conception incrémentielle d'un dispositif hydraulique original et évolutif	148
VI.3	Une démarche en appui des acteurs locaux pour améliorer la performance : réécrire la grammaire de l'innovation	149
VI.4	Perspectives et pistes de recherches.....	150
	Références bibliographiques	153

Annexes.....	159
--------------	-----

Liste des figures

Figure 1: Image montrant l'intensité de l'irrigation sous pivots artisanaux et répartition des parcelles (source : film documentaire Algérie vu du ciel).	4
Figure 2: Le Ghout, technique hydraulique traditionnelle du Souf (source : Lehuraux, 1934).	11
Figure 3: Illustration de la réadaptation de la foggara Source (Dubost, 1998).	11
Figure 4: Schématisation du cadre d'analyse : lecture interdisciplinaire de l'objet d'étude (le pivot artisanal) à travers trois regards.	14
Figure 5: Application du protocole expérimental in situ suivant la norme ISO.....	25
Figure 6: Laboratoire du contrôle des caractéristiques techniques des équipements d'irrigation - INSID (source : INSID, 2011).	27
Figure 7: Installation des bancs d'essais avec l'assistance de la partie espagnole (source : INSID, 2011).	27
Figure 8: Inauguration du laboratoire par le Ministre du MADR, le Directeur de l'INSID et l'Ambassadeur d'Espagne (Source INSID, 2011).	28
Figure 9: Formation des cadres de l'INSID par la partie espagnole sur les bancs d'essais (manipulation, automatisation, interprétation etc.) (Source : INSID, 2011).	28
Figure 10: Banc d'essais goutte à goutte.	29
Figure 11: Banc d'essais d'aspersion.	29
Figure 12: Banc d'essais durabilité de l'asperseur.	29
Figure 13: Equipements banc d'essais résistance des matériaux.	30
Figure 14: Sélection et réglage de la pompe à partir de l'automate du banc d'essais aspersion.	32
Figure 15: Station de pompage du laboratoire.	32
Figure 16: Traçage des repères sur les microdiffuseurs.	32
Figure 17: Application des pressions de pressions de 1 à 4 bar et enregistrement des débits.	33

Figure 18: Microdiffuseur monté sur banc d'essais et mise en essai.	33
Figure 19: Adaptation et vérification du dispositif d'essai.	35
Figure 20: Mis en place du protocole de mesure ; disposition en maillage des pluviomètres.	35
Figure 21: Pesée des pluviomètres avant et parés essais et enregistrement sur place des résultats.....	35
Figure 22: Situation géographique de la vallée d'El-Oued et sa répartition administrative par commune.	36
Figure 23: Diagramme Ombro-thermique (P=2T).	43
Figure 24: Localisation de la région d'El Oued sur le climagramme.	43
Figure 25: Coupe hydrogéologique du SASS.	44
Figure 26: Evolution annuelle des superficies irriguées par différents systèmes dans le Souf.	46
Figure 27: Evolution des superficies équipée en systèmes d'irrigation économe en eau à l'échelle régionale et nationale.....	47
Figure 28: El Houd un ancien modèle d'exploitation agricole (Ghout bâli non irrigué, petite écurie et puits traditionnel).....	52
Figure 29: Ghout affecté par la remontée de la nappe phréatique et laissé à l'abandon.	55
Figure 30: Exemple d'assolement rotation appliqué par un fellah à El Oued.....	60
Figure 31: Evolution des superficies (en ha) du maraichage dans le Souf.	63
Figure 32: exploitations en continuité avec l'agriculture traditionnelle.....	67
Figure 33: Un fils de fellah ayant choisi de rester dans l'exploitation familiale, système de culture diversifié (palmiers, élevage et pivot) :.....	69
Figure 34: fonctionnement d'une exploitation entrepreneuriale en rupture avec l'agriculture traditionnelle.....	70
Figure 35: illustration de l'hybridation entre les modèles d'agriculture à travers 18 exploitations agricoles.....	72
Figure 36: exemple d'une rotation des assolements sur une exploitation agricole hybride.	74
Figure 37: Acteurs de la chaine d'approvisionnement.	82

Figure 38: Vente des produits tout près de l'exploitation et sans que l'agriculteur ne se déplace vers le marché.	84
Figure 39: concentration des transporteurs revendeurs sur l'accès goudronné.....	84
Figure 40: Stratégies adaptées en post-crise et reprise.....	92
Figure 41: Présentation de la vallée d'Oued Souf : localisation et occupation du sol (adapté à partir de la carte d'occupation des sols INSID, 2011).	104
Figure 42: Modèle du pivot symétrique « éventail ».	108
Figure 43: Composantes du pivot artisanal.	109
Figure 44: Réseau de fourniture et prestation de service.	110
Figure 45: L'hétérogénéité de la distribution d'eau.	119
Figure 46: Ecartements entre les sorties destinées à recevoir les organes d'arrosage de type microdiffuseur sur la rampe du pivot artisanal.....	119
Figure 47: Modèle de microdiffuseur, installé comme organe d'arrosage sur le pivot artisanal et importé de Chine.	121
Figure 48: Carte pluviométrique en mode raster, uniformité de distribution, coefficient de 70%.....	122
Figure 49: Courbe de distribution pluviométrique sous pivot 50 m.	122
Figure 50: Essais débit-pression $Q=f(p)$ pour une ouverture de buse de 2 tours.	125
Figure 51: Détermination de l'ouverture maximale, illustration par résultats de $P=4\text{bar}$	126
Figure 52: Cartes pluviométriques de trois arroseurs réglés à une même ouverture max 2.5 et soumis à une même pression de 2bar.	129
Figure 53: Profil pluviométrique de l'arroseur 1 avec $P= 2 \text{ Bar}$ et ouverture de buse de 2.5.	129
Figure 54: courbe de débit moyenne, min et max pour l'arroseur 1.	130
Figure 55 : courbe de débit moyenne, min et max pour l'arroseur 2.	130
Figure 56: courbe de débit moyenne, min et max de l'arroseur 3.....	130
Figure 57: schématisation de la réflexion de simulation du profil pluviométrique du pivot artisanal à partir des résultats du laboratoire.	132

Figure 58: exemple de corrélation entre débit-pression des 5 arroseurs représentatifs ayant fait l'objet des essais laboratoire.....	133
Figure 59 : Schématisation du principe du dimensionnement hydraulique du pivot artisanal à partir des paramètres liés au pivot, le climat et la culture.	134
Figure 60: Simulation 01 avec pivot (50m, 3h/tour), P=2Bar avec même busage.	136
Figure 61: Simulation 01 avec machine (50m, 4h/tour), P=2Bar avec même busage.	137
Figure 62 : Simulation 5 avec pivot (50m, 3h/tour), P = 3 Bar avec même busage.	137
Figure 63: traçage des repères sur les microdiffuseurs pour faciliter le réglage.....	138
Figure 64: Simulation débit après réajustement de busage en fonction des sorties existantes et pompage à 2.0bar	139
Figure 65: simulation débit pour les futurs pivots après réajustement de busage.....	140
Figure 66: Profil pluviométrique in situ et simulée de la machine.	142
Figure 67: Comparaison entre pluviométrie in situ et simulée : ratios des rapports pluviométriques par rapport à la dose journalière.	142

Liste des tableaux

Tableau 1: Enquêtes et mesures réalisées dans le cadre de la thèse.....	21
Tableau 2: Exigences selon la norme ISO pour la réalisation des essais sur banc d'essais aspersion.....	31
Tableau 3: Recensement démographique de la wilaya d'El OUED.	37
Tableau 4: Précipitations moyenne mensuelle et annuelle à El Oued sur la période 1990-2015.	40
Tableau 5: Températures minimales, maximales et Moyenne à El Oued sur la période 1990-2012.....	41
Tableau 6: Pourcentage d'humidité relative de l'air à El Oued sur la période de 1990-2015.	41
Tableau 7: Evapotranspiration potentielle mensuelle et annuelle à El Oued estimée par la formulé de de Penman - Montheith à partir de la série de donnée 1990 – 2015.....	42
Tableau 8: Vitesse de vent en moyen mensuel et annuel sur la période de 1990-2015.	42

Tableau 9: Bilan de l'économie du Souf comparaison entre deux années 1953 et 1959.	52
Tableau 10: Investissement moyen dans la production d'un ha de pommes de terre, irrigué par pivot artisanal, pour l'année 2016.	64
Tableau 11: Héritage de chacune des huit familles d'éleveurs	77
Tableau 12: Extension en pivots artisanaux pour les familles d'éleveurs.....	79
Tableau 13: Principales pratiques adaptées par les agriculteurs après la crise des marchés en 2015/2016.....	91
Tableau 14: Modèles de pivots artisanaux développés par l'innovation incrémentale.....	108
Tableau 15: Caractéristique de l'échantillon des agriculteurs enquêtés.	112
Tableau 16: plage de fonctionnement du microdiffuseur, type d'arroseur monté sur pivot artisanal élaboré par nos soins.....	126
Tableau 17: Ecart Q_{moy} des ouvertures min et max pour les différentes P.....	127
Tableau 18: Proposition du réglage et ajustement de busage sur les pivots existants.	139
Tableau 19: Plan de busage proposé pour les nouveaux pivots	141
Tableau 20: Portion pluviométrie en %Dj pour le cas in situ	142
Tableau 21: Portion pluviométrie en %Dj pour le cas simulation.	142

Laboratoires où la thèse a été préparée :

- Maitrise de l'eau en agriculture, Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Hassan Badi, El Harrache-Alger.
- Laboratoire de Contrôle des Caractéristiques Techniques des Equipements d'Irrigation, Institut National des Sols Irrigation et Drainage, rue nationale n°5 EL Mohammedia, El Harrache-Alger.

Thèse réalisée avec le soutien de CIRAD et IRSTEA, UMR G-Eau, Montpellier.

[**Chapitre 1** : Introduction générale]

I. CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE

I.1 Avant-propos : une trajectoire professionnelle invitant à interroger la posture de l'ingénieur

Dès ma première inscription en post graduation, certains de mes anciens enseignants et collègues m'ont conseillé d'abandonner mon poste de travail et focaliser mes efforts sur ma thèse pour l'achever dans les délais accordés. Contrairement à eux, je considérais que ma double casquette, ingénieur-fonctionnaire et doctorant-chercheur, était un atout considérable que je devais exploiter au mieux durant la thèse pour atteindre les objectifs fixés. Faire une thèse au sein d'une équipe d'enseignants-chercheurs pluridisciplinaires affiliés à différentes institutions au Nord comme au Sud, avec un ancrage professionnel dans un établissement étatique, m'a offert beaucoup d'opportunités. La rencontre du monde de la recherche avec celui du professionnel, m'a permis de réaliser une recherche à double portée, analyser la nouvelle dynamique agraire dans le Souf, notamment l'innovation endogène, mais également proposer des voies d'amélioration. Mon poste d'ingénieur d'Etat au Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural BNEDER puis à l'Institut National des Sols Irrigation et Drainage l'INSID, m'a permis la facilité d'accès aux administrations et établissements publics (INSID, MADRP, DSA, etc.) et à travers elles, l'accès au laboratoire spécialisé de l'irrigation aux normes ISO, mais aussi à des statistiques agricoles, la carte d'occupation des sols etc. Cet accès est généralement réservé aux agronomes sous tutelle du MADRP. Le détail sera développé dans la partie méthodologie.

Ce qui m'a le plus marqué, rétrospectivement, à travers ce travail de thèse est le changement de ma vision vis-à-vis de l'agriculture saharienne, en particulier dans le Souf. Il convient ici de souligner qu'après l'obtention de mon diplôme d'ingénieur en sciences agronomiques spécialisé en hydraulique agricole en 2010, délivré par l'ENSA d'Alger, j'ai eu la chance d'effectuer deux sorties de terrain, au Souf, et ce avant de me lancer dans la thèse. Ma rencontre avec ce terrain remonte à la campagne agricole 2011/2012, en tant qu'ingénieur missionnaire nouvellement recruté au BNEDER. J'ai effectué deux missions de terrain de 15 jours chacune dans le cadre du projet d'étude de faisabilité pour la création des nouveaux périmètres par le biais de la concession agricole. Dans ma perception, le Souf était une oasis traditionnelle ancienne dans laquelle on pratiquait une agriculture vivrière de subsistance. De même, l'impact du pivot « bricolé » localement, en marge des palmeraies, était pour moi négligeable dans le développement agricole de cette région. Il contribuait à la mise en place d'une agriculture « archaïque », qui allait à l'encontre des politiques étatiques de

développement agricole. Je voyais aussi que les ingénieurs, par leurs technicités et savoir, devaient changer radicalement ce système "déglingué". Lors de ces sorties, il y avait avec moi un cartographe, un pédologue et un phyto-technicien. Dans la vision du BNEDER, la présence de l'agroéconomiste n'était pas vraiment nécessaire sur le terrain. Les canevas et les bulletins statistiques lui permettaient d'évaluer, au bureau, le projet sur la base d'un simulateur élaboré par des anciens cadres du BNEDER. En revanche, vers la fin du projet il participait, avec l'ensemble de l'équipe, à la validation de l'étude devant le comité local (Wali, Chef Daïra et APC, représentants des directions de l'hydraulique, environnement agriculture, etc.). Telle était la vision que j'apercevais à travers la mission de terrain pour le BNEDER que je qualifierai aujourd'hui d'approximative et incomplète, tout en reconnaissant que le BNEDER a participé ainsi que l'INSID, en plus de ma formation ENSA, à construire ma rationalité technique.

Les représentants du DSA et APC nous ont conduit jusqu'au terrain choisi pour accueillir le périmètre. Un terrain supposé être vacant, mais en réalité il y avait des agriculteurs, illicitement installés sans papiers, mais qui avaient installé plus de 5 pivots artisanaux irriguant la pomme de terre. Ils se sont opposés à l'idée du périmètre, leurs arguments contre l'implantation du périmètre étant centrés sur le devenir de leurs pivots. Autrement dit, j'ai senti qu'ils défendaient un espace et un pivot installé plutôt que la terre elle-même. Le pivot artisanal était un tel centre d'intérêt pour ces agriculteurs que je voulais comprendre les raisons de l'attractivité de cette bricole ? Le secret de son succès ? Aussi lors de cette mission, le Procès-Verbal d'acceptabilité sociale a été signé par le maire à la place des représentants de la société civile pour faire avancer la procédure. Alors que ceux qui ont colonisé informellement ces espaces, n'étaient pas d'accord. J'ai soulevé le problème auprès du chef de l'APC et le représentant du DSA. Ils m'ont répondu que ces jeunes ont déposé leurs demandes pour bénéficier des terres dans le cadre de la mise en valeur par le programme APFA hors périmètre. Les terres choisies et délimitées par ces jeunes sur le terrain étaient destinées au programme de concession. Aussi, l'enveloppe destinée pour ce projet couvrait, entre autres, la réalisation des lignes d'électricité et des pistes agricoles, chose que ces jeunes savaient. Ils nous ont suivi jusqu'au siège de l'APC. Une fois sortie de la réunion, ils ont essayé de tirer quelques informations en me posant quelques questions, en particulier à propos du tracé du réseau électrique et les pistes agricoles prévus. Ces jeunes étaient intéressés par le réseau électrique et les pistes agricoles, mais pas vraiment enthousiastes pour le forage comme ils pouvaient l'être dans d'autres régions sahariennes. En fait, chaque pivot est

alimenté par un puits, captant la nappe phréatique. Aussi, ils étaient contre la désinstallation de leurs pivots puis le remembrement en exploitations agricoles d'une superficie de 5 ha par exploitation, irriguée par goutte à goutte. Autrement dit, ces jeunes étaient dans une logique qui n'était pas intégralement convergente avec celle de l'Etat, en particulier avec l'objet de ma mission.

L'attachement des jeunes au pivot artisanal m'a motivé à lire le livre du géographe Marc Côte dans lequel il a raconté le cheminement du renouveau agraire dans le Souf après le déclin du système traditionnel du Ghout et il a décrit l'intérêt du pivot pour les agriculteurs. A travers ce livre j'ai commencé à découvrir que le pivot est plus qu'une simple bricole mais plutôt l'une des œuvres produites par la société soufie pour palier à une crise hydraulique. La remontée de la nappe phréatique, induit par le pompage en nappe profonde pour l'AEP, puis le rejet des eaux usées dans la nappe phréatique avait fragilisé le système des ghout. Comme le dit l'auteur : "le paysage raconte la société". En lisant le livre je me rends compte que finalement mes observations de terrains notamment l'implantation des mini-pivots en marge des jardins phoenicicoles détériorés ou en bon état ou encore sur des nouveaux espaces, reflètent une organisation hydraulique et agraire et non pas l'anarchie. J'ai aussi commencé à découvrir l'étroite collaboration entre l'agriculteur et l'artisan et saisir que derrière ces jeunes, qui se sont opposés à la création du périmètre, il y avait des fabricants très actifs de pivots. Alors que je les avais vu avant sur les routes communales, je croyais que c'étaient de simples soudeurs et je n'ai même pas pensé à les interviewer.

Mon nouvel intérêt pour le pivot artisanal m'a également incité à regarder le film documentaire "L'Algérie vue du ciel" et ce qui m'a le plus marqué c'était l'image aérienne qui montrait le paysage agraire dans les nouvelles extensions (voir figure 2). En tant qu'hydraulicien je me suis demandé pourquoi aucune étude ne s'était penchée sérieusement sur ce pivot artisanal ? Et ce malgré son importance en termes de nombre et superficie irriguée à l'échelle de la wilaya. Je me suis posé des questions à propos de la performance de ces pivots artisanaux ?

Enfin, mon intégration dans le monde professionnel a à la fois aiguisé ma curiosité mais aussi construit ma rationalité technique. Au BNEDER j'ai surtout travaillé à l'échelle du périmètre, en particulier la conduite d'études de faisabilité pour l'implantation et la création de nouveaux périmètres, et le diagnostic des réseaux de distribution et transport d'eau d'irrigation et du drainage des périmètres existants comme celui d'Abdala. Alors qu'à l'INSID j'ai plutôt travaillé sur l'irrigation à l'échelle de la parcelle. Ceci explique en partie l'orientation de cette

thèse pour analyser la co-conception du pivot et sa performance d'irrigation. En plus, j'assurais sur le terrain de l'appui technique et l'accompagnement technique aux agriculteurs, en animant quelques journées de vulgarisation. Celle d'El Oued m'a vraiment marqué du fait qu'après avoir fini ma présentation sur le thème de l'entretien et de la maîtrise du goutte à goutte, la plupart des questions qu'on m'a posées ont concerné le pivot artisanal sur lequel j'avais très peu d'informations. Cela m'a motivé pour concevoir et mener des protocoles expérimentaux in situ pour l'analyse de la performance hydraulique. Par la suite, et après avoir suivi une formation, j'ai été rattaché, pour une nécessité de service, durant une année au laboratoire de contrôle et de caractérisation des équipements d'irrigation. Tout équipement testé dans ce laboratoire était accompagné d'une fiche technique, fournie par le fabricant ou l'importateur. Cette fiche décrit l'équipement et son comportement dans la plage de fonctionnement recommandée. Ceci m'a conduit à me demander qu'en est-il du comportement du pivot artisanal ?



Figure 1: Image montrant l'intensité de l'irrigation sous pivots artisanaux et répartition des parcelles (source : film documentaire Algérie vu du ciel).

I.2 D'une curiosité d'un ingénieur-agronome à une réflexion scientifique

Ce constat préliminaire d'un ingénieur-agronome sur un système d'irrigation fonctionnel, utilisé à grande échelle, mais ignoré par la recherche et les structures de l'état a ouvert donc le cheminement scientifique de cette thèse à travers un éventail de questionnements. Le choix de l'objet d'étude, étudier le pivot artisanal tel qu'il est, a été légitimé par Côte (2006) qui l'a qualifié de "nouvelle innovation" en association avec la pomme de terre, responsable du renouveau agricole dans cette zone Saharienne : « *Après celle du bulldozer et celle de la motopompe, est sortie de terre une troisième forme d'adaptation, toute récente (année 1995), et très spécifique au Souf : le mini-pivot pour l'irrigation. Dans trente ans, le paysage agraire*

si étonnamment construit par les soufis risque d'être incompréhensible. Il est temps de saisir quelques clefs. ». Cinq années après son constat, El Oued s'est classé première wilaya productrice de pommes de terre et aujourd'hui elle représente plus de 40 % de la production nationale et ce grâce à plus de 35 000 pivots installés à la place ou en marge des anciennes oasis.

La diffusion très rapide du pivot artisanal a accompagné le développement massif de la production de pomme de terre, qui constituait une transformation profonde des systèmes agraires du Souf. Côte (2006 ; p. 81) explique bien que les deux phénomènes sont intimement liés : *« L'adoption de la technique du pivot va de pair avec celle de la nouvelle culture, celle de la pomme de terre. Le pivot porte la culture de la pomme de terre, celle-ci tire la création de pivots »*. L'étude du système agraire s'avère donc très importante, et il faut le faire en lien avec l'analyse du processus d'innovation du pivot artisanal afin de comprendre la nouvelle dynamique hydro-agricole dans le Souf. Cette réflexion que nous avançons s'appuie sur des approches élaborées par d'autres chercheurs, en particulier Chauveau et al. (1999) qui considèrent que le recours à la notion d'innovation permet de préciser des hypothèses dans le domaine des dynamiques agraires. A travers leur livre, ces auteurs restituent les réflexions d'un groupe de chercheurs en agronomie et en sciences humaines qui confrontent leurs analyses des dynamiques agraires au paradigme de l'innovation. Côte (2006 ; p.5) montre également un lien étroit entre l'analyse de l'innovation et celle du système agraire (et même de la société) : *« lorsque la société change le paysage change-t-il ? Par un phénomène d'inertie, le paysage tend à se survivre à lui-même, à persister au sein d'une société nouvelle. Mais celle-ci finit par le remodeler, et tend à le réadapter à son propre fonctionnement »*.

Ces éléments de contexte nous ramènent à nous interroger sur les changements opérés dans les modes de production agricole, allant dans un sens d'une agriculture entrepreneuriale avec l'implication et la participation des jeunes dans l'agriculture soufie. Côte cite les avantages de ce système pivot/pomme de terre - 'moteur du renouveau agraire' - notamment la production en deux récoltes par campagne. Mais aussi les risques qu'induit cette culture en particulier la fatigue du sol et l'intensification d'engrais. D'autres auteurs ayant travaillé sur d'autres régions citent un autre type de risque, celui de la volatilité des prix sur les marchés agricoles. Par exemple Derderi et al (2015, P.5) ayant travaillé sur la zone d'Aflou explique que *« La culture de la pomme de terre est économiquement risquée, compte tenu du capital engagé par hectare et la forte volatilité des prix du produit »*. Ces analyses nous rapprochent de la définition de « l'agriculture entrepreneuriale » de Van der Ploeg (2008). Il l'a défini comme

étant : une agriculture axée pour réduire la dépendance à la nature, à travers un processus d'artificialisation (utilisation d'engrais et de pesticides par exemple), produisant ainsi de grands flux de déchets et de pollution (Petit et al., 2017). Aussi dans son travail de fond sur l'innovation et l'entrepreneuriat dans le domaine de la production industrielle, Schumpeter (1934) souligne que l'entrepreneuriat est souvent lié à la capacité de l'entrepreneur à prendre des risques, à innover et à apprendre par essais et erreurs (Olivier et al, 2017). Sur le terrain, on peut constater que cette nouvelle forme d'agriculture entrepreneuriale est surtout portée par des jeunes. Qu'en est-il de cette « génération pivot » ? Quelle est sa trajectoire socio-économique et comment se compose son système de production ? Le jeune Soufi producteur de pomme de terre sous pivot artisanal, conçu localement, s'expose également aux risques cités. Par exemple, en installant plus de 20 pivots pour les mettre en culture en intensifiant l'apport d'engrais et de produits phytosanitaires. A cet effet, nous considérons qu'en lien avec l'innovation il faut étudier cette agriculture entrepreneuriale émergente irriguée par pivot artisanal avec un focus sur les jeunes.

Les innovations dans le Souf ont surtout été portées par les acteurs locaux. Partant de ce fait, le Souf peut être considéré donc comme un laboratoire à ciel ouvert en termes d'innovation. Le décryptage du processus d'innovation du pivot artisanal, qui s'est diffusé à une très grande vitesse à un très grand nombre d'utilisateur, s'avère importante, en remontant à l'origine et l'émergence du pivot artisanal. Aussi, le moment était opportun de faire cette analyse vingt après le début du processus d'innovation du pivot artisanal et au moment où les principaux acteurs de l'innovation étaient toujours présents. L'innovation se définit selon Baron (2005) comme étant le processus par lequel des acteurs acquièrent, au cours de leur expérience, de nouvelles prises pour l'action en réponse à des situations critiques. Ce qui invite à considérer que le mini pivot résulte de la combinaison de certains facteurs de terrain ayant conduit vers une situation critique. D'autant plus que Côte (2006) justifie son travail sur le Souf par le fait qu'il est passionnant de voir comment une société peut surmonter une crise hydraulique et faire preuve d'ingéniosité. Parmi les facteurs l'auteur cite la mise en difficulté du système hydraulique traditionnel et la non adaptation du modèle importé (le pivot conventionnel) à l'environnement soufi. La diffusion de ces grands pivots a rencontré de nombreux échecs, y compris en Algérie, pour des raisons technique, agronomique et socio-économique (Otmame et Kouzmine, 2013). C'est aussi le cas pour le Souf, selon Côte (2006 ; p.78), qui relevait dans son livre que la présence du « *cadavre de l'un des grands pivots à l'entrée Souf en témoigne* ». L'introduction et le transfert technologique dans la région de la MENA, au sens

plus large dans les pays en voie de développement, devient le centre d'intérêt de beaucoup chercheurs. Comme le dit Chauveau et al (1999, p.3) : « *Introduire et faire adopter des nouveautés est une préoccupation permanente des organismes de recherche et de développement agricole dans les pays du Sud* ». L'étude des bilans de ces transferts incite certains chercheurs à remettre en question l'adoption des innovations, comme par exemple (Otmame et Kouzmine, 2013). A ce propos, Roussi (2015) explique dans son travail que l'adoption d'une innovation engendre des incertitudes supplémentaires pour les agriculteurs qui s'ajoutent aux nombreux risques encourus dans le contexte de production actuel : techniques, volatilité des prix, réglementaires, etc. Pour que le pivot réussisse dans le contexte du Souf, il fallait donc l'adapter : « *adopter une innovation c'est l'adapter* » (Akrich et al., 1988). De ce fait, en lien avec le système agraire, il fallait donc s'intéresser à ces adaptations du pivot artisanal et les acteurs impliqués.

L'extension d'une telle agriculture entrepreneuriale et dans un tel contexte saharien, est fondé sur le pompage d'eau souterraine très peu renouvelable. Le développement de l'agriculture passe obligatoirement par une meilleure gestion de l'eau dans les zones irriguées. L'évaluation de la performance des systèmes d'irrigation est donc d'une grande importance pour proposer des améliorations de cette gestion (Molden et Sakthivadivel, 1999 ; Hanafi, 2011). Une pareille diffusion, rapide et massive, de ce pivot artisanal nous conduit, dans une troisième étape à nous interroger sur la performance du « pivot artisanal ». Une démarche d'analyse de la performance doit s'élaborer dans une perspective de proposer des voies d'amélioration du système pour la promotion d'un usage rationnel d'eau et conservation de la ressource hydrique pour la future génération. Cependant, les études sur la performance des systèmes d'irrigation sont souvent remises en question, car les approches disciplinaires ayant abordé les performances hydraulique ou économique des systèmes d'irrigation de façon séparée ne permettent pas d'identifier des voies d'amélioration de façon crédible. Analyser le fonctionnement hydraulique permet d'établir des objectifs réalistes de performance hydraulique, mais sans une compréhension fine des logiques et stratégies des agriculteurs ces objectifs restent des vœux pieux. De ce fait, les interventions basées sur la seule dimension hydraulique ou économique n'apparaissent pas comme étant les plus adaptées (Hanafi, 2011). Cela suppose donc qu'on doit analyser la performance du pivot artisanal, en tenant compte de la spécificité du pivot, son environnement et la logique de ses usagers. De nombreux travaux ont été conduits pour étudier les performances des systèmes d'irrigation selon des approches mono disciplinaires ou multidisciplinaires (*ibid.*). Par exemple, Benouniche (2014) démontre

à travers son travail sur le goutte à goutte au Maroc que la performance réelle de l'irrigation (irrigation efficacité, uniformité de la distribution) sur le terrain est souvent assez différent de celui obtenu expérimentalement en station. Enfin, l'appropriation du pivot et son usage pour l'irrigation nous incite à réfléchir sur une méthode d'évaluation appropriée et de s'inspirer des travaux de certains chercheurs ayant développé des approches multidisciplinaires pour une bonne compréhension des performances d'irrigation (van Schilfgaarde, 1994; Tanji et Keyes, 2002; van der Kooij et al., 2013 ; Benouniche et al., 2014)

I.3 Question de recherche

Ma curiosité initiale, en particulier remettre en question mon rôle en tant qu'ingénieur, a trouvé de conformité en lisant le travail de Pascon (1980). Finalement elle s'inscrit dans une pensée que postule cet auteur sur la relation entre l'ingénieur et l'agriculteur. Il y a une sorte d'incompatibilité culturelle et géographique, dit-il, entre le projet technique et le projet paysan. Partant de sa conclusion sur le rôle que doit jouer l'ingénieur *''Dès lors que le technicien est un serviteur, ce qu'il n'a jamais cessé d'être, mais qu'il a souvent répugnance à admettre. S'il ne peut choisir d'être qu'au service des puissants, qu'au moins il ne renonce ni à la lucidité, ni à la contestation et ne cache les bavures. S'il a le courage de choisir d'être au service des plus déshérités, il devra faire preuve de beaucoup d'imagination et d'effort et montrer en quoi son bricolage, évitant mieux les bavures, s'approche de ce fait un peu de l'universel sans y parvenir pour autant''* (Pascon, 1980, p.3), cette thèse se propose de développer et interroger une démarche d'ingénierie au service des acteurs locaux (fabricants, experts, agriculteurs). Nous posons la question suivante : comment concevoir et instrumenter une démarche d'ingénierie venant en appui aux dispositifs d'irrigation/acteurs locaux pour améliorer les performances d'irrigation ?

Pour répondre à cette principale question de recherche, trois questions spécifiques de recherche sont formulées :

- ✓ Comment l'émergence de ces pivots artisanaux a-t-il accompagné la mise en place d'une petite agriculture entrepreneuriale centrée autour de la production de pomme de terre et ainsi contribué au remodelage agraire ?
- ✓ Par quel processus d'innovation les acteurs locaux ont-ils conçu et adapté le pivot artisanal à partir du modèle du pivot importé ?
- ✓ Comment évaluer les performances d'un dispositif hydraulique conçu par des acteurs locaux pour améliorer les performances d'irrigation ?

I.4 Le Sahara, l'eau et les populations locales : une capacité à concevoir des dispositifs adaptés de captage et de mobilisation de l'eau

Depuis toujours, la problématique de l'eau au Sahara a fait couler beaucoup d'encre, suscité de grands débats et intéressé beaucoup de chercheurs et écrivains, à la fois des sciences humaines et techniques. Son enjeu est tellement important qu'il incite certains auteurs à le prendre, particulièrement les formes de sa présence physique, comme un mot clé pour définir le Sahara, où l'agriculture sans irrigation est impossible (Bisson, 2003). Le mot « oasis » est d'origine égyptienne signifiant un lieu habité, utilisé par le géographe Hérodote vers 450 av. J-C (Toutain et al., 1988 ; Zela, 2006). Elle représente un havre de vie, né principalement de la conjonction du soleil, de l'homme, de l'eau, du palmier-dattier et du dromadaire (*ibid*). Pour Idda (2019 ; p.12) « elle représente un exemple essentiel de la capacité de l'homme à vivre dans les conditions les plus extrêmes de l'œkoumène ». 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) (*ibid*).

L'eau de surface y est rare et est disponible de façon très irrégulière. Bensaâd (2011) précise qu'à l'exception de l'eau des oueds descendus de l'Atlas Saharien et les sources d'eau et certains lacs (le lac Ubaru en Libye, par exemple) partout ailleurs dans le Sahara l'eau est enfouie dans le sous-sol (Hamamouche, 2018). Les communautés oasiennes devaient donc « prospecter, extraire et acheminer l'eau en forçant le milieu » (*ibid*). Les eaux souterraines, héritées des derniers épisodes pluvieux du quaternaire, sont souvent difficilement accessibles, ce qui a donné lieu à la mise en place d'un ensemble de dispositifs de captage et de mobilisation de l'eau très ingénieux.

A la lumière de l'ensemble de ces éléments, nous pouvons considérer que l'oasis est constamment implantée à proximité de l'eau : « L'implantation de ces oasis n'a pas occulté le facteur hydraulique ; elles étaient édifiées le long des points d'eau » (Otmane, 2016). Dans ces territoires oasiens les dispositifs de captage d'eau à des fins d'irrigation représentent une remarquable diversité selon la société : « Au-delà de la vie économique et sociale qu'ils animent, ces dispositifs hydrauliques présentent un savoir-faire inouï et véhiculent des valeurs identitaires chargées d'histoire » (*ibid*). La plupart de ces dispositifs s'intéresse aux eaux souterraines « du fait qu'en milieu saharien l'exploitation des eaux souterraines constitue pratiquement la seule forme d'eau » (Guillermou, 2011). En dehors de Jiser en Tunisie et inondation dirigée dans la région d'El Hodna en Algérie, les dispositifs de captage analysés par cet auteur sont liés aux eaux souterraines.

En Algérie les populations sahariennes ont fait preuve d'ingéniosité en développant des dispositifs adaptés au contexte biophysique et sociétale de leur milieu. Ainsi, le système de foggara tire son originalité de son adaptation aux conditions sociales de la région (figure 3). Selon Dubost (1998, P. 4) « *Les foggaras sont des galeries forcées au pic et à la houe dans les terrains aquifères qui drainent la surface de la nappe et amènent l'eau en contrebas pour irriguer les jardins* ». Dans la littérature, nous trouvons des anciens manuscrits qui remontent à plus de 1000 ans décrivant de tels dispositifs en Iran, les *qanat*. En 1017 Mohammad Al Karagi publiait un traité intitulé « *La civilisation des eaux cachées. Traité sur l'exploitation des eaux souterraines* », une étude novatrice et pionnière sur la compréhension des pratiques, usages des populations (des zones sèches, arides et semi-arides) dont l'existence et le développement dépendent de l'accès aux eaux souterraines (Fofack Tsabou RL, 2018).

Aussi quand une nappe phréatique n'est pas très profonde elle est captée à travers des puits, à faible débit généralement. Le puisage s'effectue au moyen d'une poulie avec une traction animale ou par puits à balancier. Selon Otmane (2016) cette technique est aussi envisagée dans le cas contraire (rabattement) et elle assez répandue dans le centre et le sud de la Saoura, dans le nord-ouest du Gourara et qu'on trouve également dans le M'zab. Les nappes profondes sont parfois accessibles à travers des ouvrages artésiens, par exemple les puits et forages artésiens d'Oued Righ.

Dans le Souf, les populations ont choisi de rejoindre la nappe phréatique à travers la technique hydraulique traditionnelle connue sous le nom *Ghout*. La *beurda*, l'équivalent du ghout au Souf dans le Bas-Sahara, profite de l'eau qui est à fleur du sol pour se développer dans les confins ouest de l'Erg Occidental, plus particulièrement dans le Taghouzi (Otmane, 2016). En se basant sur les travaux effectués sur le Souf, en particulier ayant démontré l'ingéniosité du système et son équilibre avec le milieu physique les Ghouts, (Lehuraux, 1934 ; Daviault, 1947 ; Bataillon, 1960), actualisés par les travaux (OSS, 2003 ; Côte 2006 ; Rmeni, 2006 ; Zella, 2006 ; Khechana S., 2008 ; Meziani, 2009 ; Messekher et al, 2010), le Ghout se définit comme étant une technique hydraulique traditionnelle et originale consistant à planter les palmiers par groupe de 100 à 200 dans des cuvettes artificielles, dont le fond est ramené à quelques mètres du toit de la nappe phréatique permettant à l'extrémité des racines d'atteindre la nappe phréatique et être en connexion permanente pour puiser l'eau.



Figure 2: Le Ghout, technique hydraulique traditionnelle du Souf (source : Lehuraux, 1934).

Ces différents dispositifs hydrauliques dans le Sahara étaient non seulement très adaptés au contexte spécifique dans et pour lesquels ils avaient été conçus, mais ils étaient souvent adaptés à des changements de contexte. Ceci peut être illustré à travers le surcreusement des *Ghout* dans le Souf et *Beurda* dans l'erg occidental. A chaque fois, que la nappe s'éloignait trop de la zone racinaire des palmiers, les propriétaires faisaient descendre ceux-ci en surcreusant la cuvette dans laquelle ils étaient implantés. C'est le cas aussi pour les foggaras, où il fallait prolonger ou sur-creuser la galerie drainante, ou même déplacer les palmeraies vers la base en direction de la Sebkhah ou chott « *Du fait qu'elles ne peuvent s'implanter n'importe où : il faut que la cote du toit de la nappe surplombe celle des jardins* » (Dubost, 1998, p.4) voir figure 3.

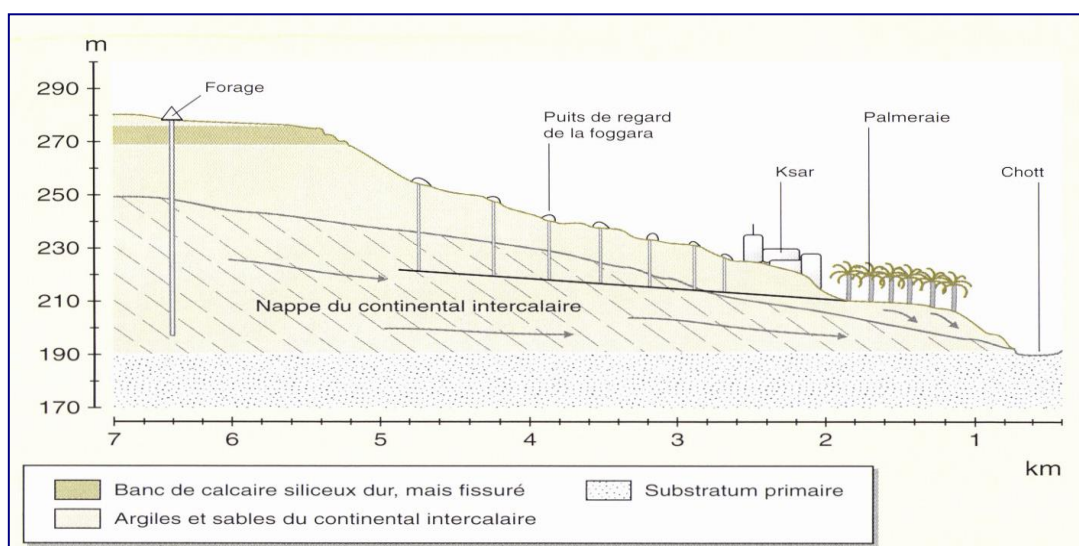


Figure 3: Illustration de la réadaptation de la foggara Source (Dubost, 1998).

I.5 Réadaptation des dispositifs hydrauliques au nouveau contexte oasien

Dans la littérature, on trouve beaucoup de travaux qui traitent le sujet des transformations qu'ont connues les oasis en Algérie depuis la deuxième moitié du 20^{ème} siècle et la mise en difficulté des dispositifs hydrauliques anciens (Bataillon, 1960 ; Bisson, 1983 ; Dubost 1998 ; Côte, 2002 ; Bisson J, 2004 ; Côte 2006 ; Otmane et Kouzmine 2013 ; Hamamouche et al, 2015 ; Naouri et al, 2016 ; Otmane ; 2016). Ces auteurs mettent en avant l'intervention anthropique comme principale cause ayant engendré un bouleversement du contexte socio-économique et hydraulique « *Actuellement, des systèmes se maintiennent tant bien que mal, Outre les transformations sociales qui ont affecté la société oasienne, les effets de l'utilisation des moyens modernes de mobilisation de l'eau ont eu des répercussions néfastes sur ces systèmes* » (Otmane, 2016). L'introduction du pompage des eaux souterraines profondes dans les régions sahariennes pour la mise en valeur agricole, en lien avec les nouvelles politiques Etatiques, a été un facteur de transformation très importante. Ceci ressort par exemple dans l'analyse que fait Dubost (1998, P.5) dans la région de Touat : « *Dès la libération de l'appropriation foncière, les anciens khammès, les émigrés de retour, et toutes les personnes désireuses d'amélioration leur statut, qui avaient difficilement accès aux foggaras, ont eu recours à des puits et à des pompes pour se procurer l'eau nécessaire* ». Hamamouche et al. (2015) ayant étudié la région des Ziban parlent « *D'émancipation des jeunes des oasis du Sahara algérien par le déverrouillage de l'accès à la terre et à l'eau dans* ».

Cette multiplication de stations de pompage revient à une intervention étatique pour satisfaire l'AEP et moderniser l'agriculture : « *L'utilisation du forage qui atteint la surface de la nappe albiennaise à 20 ou 30 m et qui s'enfonce dans les aquifères sur plus de 100 m permet en quelques semaines de mobiliser 30 à 50 l/s, l'équivalent de ce que produisent 15 à 20 km de foggara* » (Dubost ,1998, p.5) Ceci a eu de lourdes conséquences en conduisant progressivement au rabattement des nappes profondes ou inversement à une remontée de la nappe phréatique, engendrant ainsi le déclin des dispositifs hydrauliques. Les Ghouts représentent un parfait exemple de ce déséquilibre du milieu provoqué par le sur-pompage. Côte (2006) a montré l'ingéniosité du système et son équilibre avec le milieu biophysique, mais a aussi mis l'accent sur sa fragilité face au sur-pompage : « *Fragile parce qu'il est étroitement lié au niveau de la nappe (plus que dans les techniques d'élévation de l'eau). Dès que le niveau s'abaisse (c'est le cas au milieu du XXe siècle), ou s'élève (c'est le cas actuellement), l'arbre risque de mourir d'insuffisance ou d'excès d'eau* » (ibid, P.48). En réalité la remontée remonte aux années 1950 quand le premier forage fut réalisé à Houba, par

la CAPER (Caisse d'Accession à la Propriété et à l'Exploitation Rurale). Bataillon signale que les populations se sont opposées à la réalisation de ce forage. Il avait qualifié le forage de « *modernisation radicale* » et avait alerté les autorités coloniales à l'époque, en signalant la dangerosité et des risques que cela pouvait induire : « *une modernisation radicale des cultures apparaît avec les réalisations de la CAPER. L'eau abondante rejoint la nappe phréatique. Le niveau de celle-ci, qui s'était abaissé à 4 m depuis les plantations en « Ghout » dans la région a remonté à 80 cm du sol et même affleure par endroit. Si l'on veut éviter la destruction des plantations traditionnelles il faut obtenir un rabattement par drainage jusqu'à 1,80 m ; ce sont les Deglet-Nour qui souffrent le plus du niveau trop élevé de l'eau.* » (Bataillon, 1960 ; P. 7). Malgré cela les autorités ont persisté dans cette voie de la modernisation radicale, pas seulement durant l'époque coloniale mais aussi depuis l'indépendance ce qui a conduit dès 1980 à l'accélération de la remontée de la nappe phréatique et l'enneigement des Ghout en créant ainsi, paradoxalement, des oasis « *malades de trop d'eau* » (Côte, 1998). Face à ces transformations radicales et rapides du contexte hydraulique, de nouvelles adaptations ont été mises en place par les populations à travers (i) la motopompe ayant servi non seulement pour l'aspiration et le refoulement de l'eau affleurant dans les cuvettes mais aussi pour pomper de l'eau de la nappe, à travers des puits, et planter les palmiers en surface (ii) le remblayage des cuvettes pour augmenter le niveau du terrain naturel. Une autre adaptation était la mise en valeur des terres hautes (palmiers et des cultures associées), au début avec de séguias revêtues au plâtre pour une irrigation en gravitaire, et plus tard en goutte à goutte.

En parallèle, les populations avaient vu arriver trois pivots conventionnels au début des années 1980, qui n'ont pas rencontré le succès escompté. Cependant, ce modèle importé a inspiré la communauté locale à co-concevoir un nouveau dispositif - « le pivot artisanal » - adapté aux besoins locaux en termes de superficie irriguée, système de culture, pression de pompage disponible, etc. Le pivot artisanal, notre objet d'étude, est donc issu d'une longue histoire hydraulique du Souf et vient après une série de tentatives de réadaptation des Ghouts face au contexte de transformations radicales et rapides. Il s'agit donc d'en tenir compte dans notre analyse, en considérant le pivot artisanal comme une innovation sujette à des changements continus et en analysant le processus d'innovation sur la durée.

I.6 Cadre d'analyse

Pour décrypter la complexité du renouveau agraire animé par une innovation endogène - le pivot artisanal - dans le Souf, la construction d'un cadre d'analyse multidisciplinaire s'avérait nécessaire. La figure 4 représente la grille d'analyse interdisciplinaire développée où trois

champs d'analyse permettent d'étudier le pivot artisanal, le dispositif hydraulique qui constitue l'objet d'étude : i) l'analyse des transformations des systèmes agraires, ii) les travaux sur les réseaux sociotechniques et le processus d'innovation, et iii) l'évaluation de la performance hydraulique du pivot artisanal dans une perspective d'amélioration incrémentielle.

Le travail de Pascon (1980, P.3) qui a remis en question le rôle de l'ingénieur et son public cible, "être au service des programmes étatiques ou initiatives locales" et la réflexion de Chaullet (1984) interrogeant la perspective dominante d'analyser les dynamiques rurales à partir des politiques de l'état (« *Je voudrais partir du point de vue opposé* »), nous a inspiré à rejoindre le processus d'innovation incrémentielle au service des acteurs locaux (fabricants, experts, agriculteurs). A partir de là nous nous sommes proposés d'étudier la question : comment concevoir et instrumenter une démarche d'ingénierie venant en appui aux dispositifs d'irrigation/acteurs locaux pour améliorer les performances d'irrigation ? Au lieu de s'interroger sur le pourquoi de l'échec du pivot conventionnel, cette thèse s'intéressera plus généralement aux dispositifs hydrauliques tels que adaptés ou même conçus in situ par les acteurs locaux.

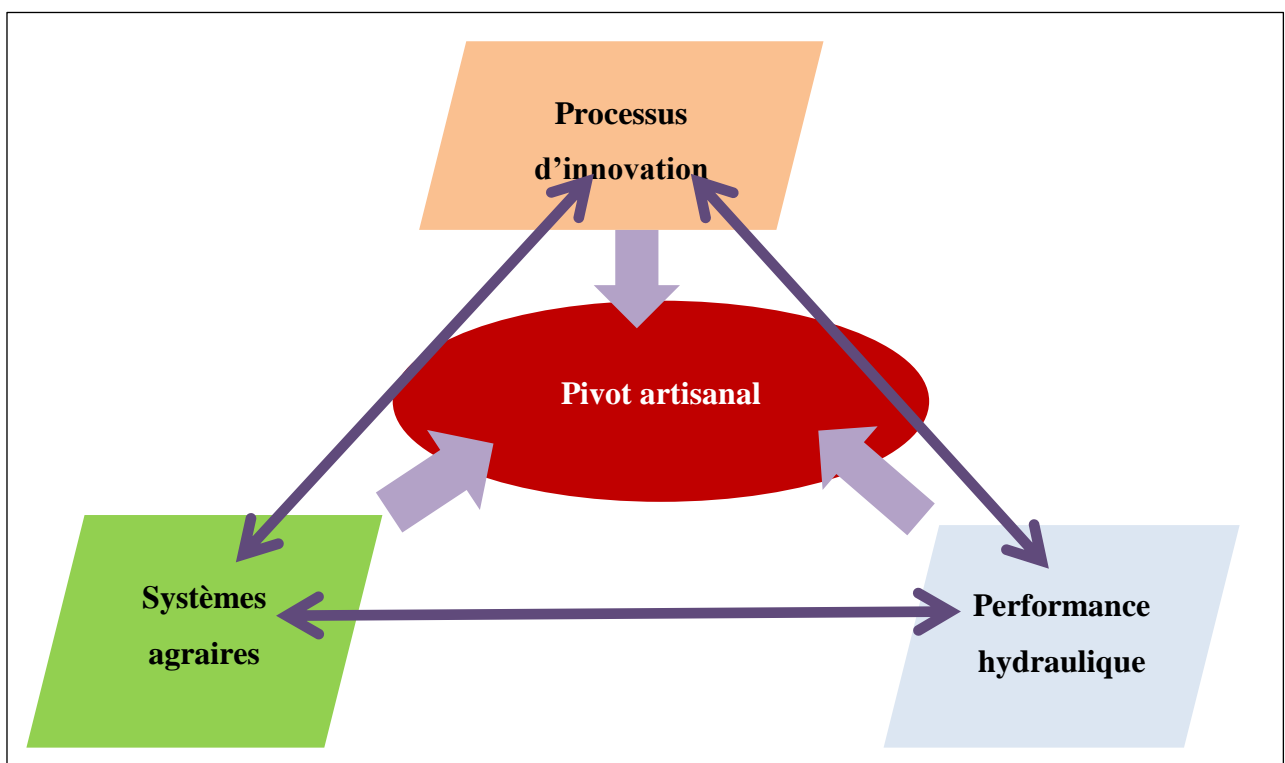


Figure 4: Schématisation du cadre d'analyse : lecture interdisciplinaire de l'objet d'étude (le pivot artisanal) à travers trois regards.

Trois débats dans la littérature ont inspiré cette thèse. Premièrement, Côte (2006) évoque un important point à travers son analyse : les transformations des dynamiques agraires et l'évolution du dispositif hydraulique sont mutuellement constitutifs : ils « vont de pair ». De ce fait, en lien avec le pivot il fallait donc étudier cette dynamique agraire. Par la suite, le changement de posture qu'avance Chaulet (1984) dans son livre nous a inspiré à le réaliser à partir des réalités de terrain et non pas des politiques agricoles qui auraient été perverties ou rencontrées des difficultés. Ce qui nous a conduit à conduire, dans une première étape, une analyse sur le pivot artisanal tel qu'il est inséré dans les systèmes agraires : '*les agriculteurs-producteurs sont au centre de l'analyse*' (ibid). Cependant, comme le préconise Chaulet (1984), une fois avoir analysé ces réalités de terrain on devait revenir aux programmes étatiques. A ce propos, les travaux de Otmane, de Kouzmine, de Côte, et de Bataillon nous ont inspiré à prendre en considération les programmes menés dans une optique de la modernisation de l'agriculture, en particulier l'implantation du modèle agrobusiness. Aussi, les travaux de Daoudi et al. (2015) nous a conduits à porter une attention particulière à l'insertion des jeunes dans les programmes de mise en valeur des terres.

Le livre de Marc Côte m'a interpellé pour consulter des travaux effectués sur les systèmes agraires. La définition des systèmes agraires que donne M. Mazoyer (1985) « *Est d'abord un mode d'exploitation du milieu, historiquement constitué et durable, un système de forces de production adapté aux conditions bioclimatiques d'un espace donné et répondant aux conditions et besoins sociaux du moment* » m'a amené dans un premier temps à mobiliser les travaux de Bataillon, Dubost et Bisson sur la transformation agraire dans la région saharienne en Algérie, en particulier le passage vers une agriculture destinée au marché. Mais aussi à lire les travaux plus récents de Van der Ploeg, qui a distingué trois modes de production : paysan, entrepreneurial et capitaliste. Sa pensée nous a beaucoup aidé à comprendre les transformations agraires très importantes qu'a connue le Souf par rapport aux paysanneries.

La lecture du livre de Marc Côte sur la capacité d'adaptation des paysanneries du Souf et les travaux menés sur l'échec des grands pivots (Otmane et Kouzmine, 2013 et Dubost, 1998), m'a amené également à consulter et à lire les travaux sur l'innovation, notamment ceux de Schumpeter et Akrich. Selon ces auteurs, l'innovation est une « *invention qui a réussi, ou qui a rencontré des utilisateurs* » (Schumpeter, 1934), ce qui plaide, pour une seconde étape, pour une analyse du pivot artisanal tel que utilisé par les acteurs. En plus de l'abondance des pivots sur le terrain, plus de 35 000 installés selon les chiffres officiels, la production en série, la vente sur crédit, le service après-vente et réparation qu'assurent les fabricants révèlent une

forte demande de ce dispositif sur le marché. De ce fait le pivot peut clairement être considéré comme une innovation, car elle a rencontré son marché. Selon Akrich (1988) pour qu'une innovation soit adoptée elle doit i) être adaptée par les utilisateurs et ii) être adaptable car le contexte socio-économique et biophysique est évolutif. Pour notre cas, le pivot répondait à un besoin : peu coûteux, maniable, facile, souple, disponible et surtout adapté à un contexte local en constante évolution. Akrich dans son article, l'art de l'intéressement, révèle aussi que le succès de l'innovation tire son origine de sa capacité à susciter l'adhésion de nombreux alliés de l'innovation. Elle l'explique à travers l'exemple de l'adaptation des panneaux photovoltaïques. Dans notre cas, il s'agit d'une co-conception du pivot artisanal sur une longue période avec des contributions diverses par différents acteurs : agriculteurs, artisans locaux, commerçants etc. Les deux auteurs mettent l'accent aussi sur les acteurs d'innovation et les considèrent au centre du processus de l'innovation. Ceci nous a conduit à construire un lien entre les acteurs impliqués dans la production, l'utilisation et la diffusion du pivot, depuis la collecte et le recyclage des pièces jusqu'à l'installation et mise en fonctionnement sur la parcelle. Ceci nous a permis de décrypter et retracer le réseau sociotechnique porteur de cette innovation. Au final nous devions étudier le pivot comme innovation dans un environnement évolutif qui lui est propre.

Suite à l'étude du processus d'innovation du pivot tel qu'il est inséré dans le système agraire et utilisé par les acteurs, on devait réfléchir sur le volet amélioration du dispositif. Pour commencer l'ouvrage de Faure et al. (2017) nous a inspiré sur la manière par laquelle nous devions intervenir. Cet auteur dans son 11^{ème} chapitre, retrace l'historique des approches de conseil en agriculture et leur adaptation au changement de contexte. Il démontre la limite d'une logique descendante qui a prouvé ses limites sur le terrain, où l'innovation était alors vue comme étant insufflée par la recherche (publique ou privée) et le conseil était le moyen transfert de connaissances et de techniques aux agriculteurs. Cependant, face à ces limites de nouvelles approches ont été développées où la logique interactive a été privilégiée afin de mieux prendre en compte les besoins des agriculteurs et leurs marges de manœuvre '*Les agriculteurs et adaptateur locaux ont commencé alors à être perçus comme des acteurs de l'innovation*' (ibid). Ceci nous a inspiré à agir tout en faisant partie du processus i.e. contribuer dans le processus et éviter l'isolement au laboratoire. Le travail de Benouniche (2016) nous a aussi marqué. A travers son cas d'étude, le goutte à goutte au Maroc, elle démontre le rôle des protocoles expérimentaux de terrain et d'une entrée multidisciplinaire afin d'évaluer de la performance hydraulique à partir de réalités de terrain. De même, il fallait

dans notre cas faire appel aux agriculteurs et artisans non seulement pour comprendre leur comportements et l'usage du dispositif (notamment, le réglage du plan de busage, de la vitesse de déplacement, durée d'irrigation etc.), mais aussi pour tirer des conclusions de leurs expériences : « *l'utilisateur est considéré comme un membre d'une communauté dans laquelle il partage les résultats de sa production avec d'autres, tout en bénéficiant du travail des autres* » (Parmentier, 2010, p 25). Ce travail de Benouniche (2016) nous a inspiré également de mettre en place un protocole d'évaluation de la performance sur le terrain et tel qu'il est installé dans l'exploitation.

Le cadre d'analyse ainsi élaboré nous a permis de décrypter la complexité du nouveau agraire animé par le pivot artisanal et aboutir à une grille d'évaluation du dispositif dans la perspective de proposer des voies d'amélioration.

I.7 Organisation de la thèse

Suite à ce chapitre introductif cinq autres chapitres seront développés :

- ✓ Le deuxième chapitre, matériels et méthodes, pour présenter l'approche scientifique de la thèse et son déroulement ainsi que la description de la zone d'étude.
- ✓ A travers le troisième chapitre, nous analyserons la première question spécifique : comment l'émergence des pivots artisanaux a-t-elle accompagnée la mise en place d'une petite agriculture entrepreneuriale centrée autour de la production de pomme de terre et ainsi contribué au remodelage agraire ? L'engagement des jeunes, « génération pivot », dans ce modèle d'agriculture sera étudié à travers leurs trajectoires socioéconomiques. Ceci permettra de dégager une typologie des exploitations et d'analyser les stratégies d'adaptation à la volatilité du marché. Les acteurs et leur implication dans la chaîne d'approvisionnement en facteurs de production seront étudiés pour apporter un regard critique sur le nouveau modèle agricole irrigué par pivot artisanal.
- ✓ Le quatrième chapitre a fait l'objet d'une publication. Nous allons analyser le processus d'innovation pour répondre à la deuxième question spécifique : comment les acteurs locaux ont-ils conçu et adapté le pivot artisanal à partir du modèle du pivot importé ? La chronologie de développement et d'adaptation du dispositif sera développée à travers laquelle nous analyserons son appropriation. Nous pouvons ainsi saisir les raisons de l'attractivité d'un tel dispositif

hydraulique et l'origine de son succès. Aussi les auteurs impliqués dans sa production et leur interconnexion seront identifiés pour retracer l'implication des différents corps du métier.

- ✓ Quant au cinquième chapitre il sera consacré à l'étude de la performance hydraulique du dispositif, à partir des mesures réalisées sur le terrain d'abord (entretiens des acteurs et mesures in situ), puis par des séries de mesures conduit dans un laboratoire spécialisé. A travers notre cas d'étude nous traiterons la troisième question spécifique : comment évaluer les performances d'un dispositif hydraulique conçu par des acteurs locaux ?
- ✓ Vers la fin cette thèse sera clôturée par un chapitre conclusion générale afin de revenir à notre principale question : comment concevoir et instrumenter une démarche d'ingénierie venant en appui aux dispositifs d'irrigation/acteurs locaux pour améliorer les performances d'irrigation ? pour tirer les principales conclusions et leurs implications ainsi que les perspectives et les pistes de recherche.

[Chapitre 2 : Méthodologie et description de la zone d'étude]

II. CHAPITRE II : METHODOLOGIE ET DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

II.1 Méthodologie

II.1.1 Démarche de la thèse

Pour analyser le système pivot artisanal tel qu'il est inséré dans son environnement dans une perspective de proposer des voies d'amélioration il fallait s'intéresser et inclure les aspects matériels et immatériels qui entrent dans son fonctionnement. D'abord pour donner du sens à l'analyse des systèmes agraires dans un contexte de changements vers une agriculture entrepreneuriale, les travaux de Amichi et al. (2015) et de Daoudi et al. (2015), m'ont motivé à m'intéresser aux jeunes, la « génération pivot », ainsi qu'à leurs stratégies de contournement et d'adaptation pour accéder aux facteurs de production et construire leurs projets. Aussi d'autres travaux m'ont aidé dans la mise en application de la pensée de Van der Ploeg i.e. la distinction des trois modes de production. Les travaux de Petit et al. (2017) et d'Ameur et al. (2015) au Maroc et Okali et al. au Ghana (2012), m'ont incité à étudier, à travers une seconde enquête de terrain, la trajectoire socioéconomique des jeunes agriculteurs, le fonctionnement de leurs exploitations et d'établir une typologie. En lisant l'article de Lejars et al. (2017) sur le rôle joué par les acteurs de la chaîne d'approvisionnement dans le développement de l'agriculture destiné au marché, nous nous sommes proposés à identifier à travers cette enquête tous les acteurs de la filière puis de les prendre en considération, en lien avec les agriculteurs, dans notre analyse. Pour réaliser cela, j'ai effectué une enquête auprès de 35 agriculteurs durant les deux années 2016 et 2017, plus des entretiens semi directifs réalisés avec des 18 acteurs impliqués dans la filière, dont 6 grainetiers, 5 ingénieurs salariés des firmes privées, 3 cadres DSA, un directeur de la CASAP et un ex-cadre de la DSA. Aussi, certains parmi eux nous ont orientés vers des personnes ressources âgés (plus 70 ans) que nous avons interviewé. Il s'agit un ancien Talabe (imam de mosquée), un chikh de la zaouïa Kadirya, anciens fellahs, un ex-Kateb (écrivain public non officiel), qui sont connaisseurs de l'agriculture du Souf. Ils côtoient souvent des agriculteurs et parfois participent à la résolution des conflits en relation avec l'exploitation agricole. Ils interviennent en tant que témoin ou pour réconcilier ou encore pour écrire leur réclamation auprès des administrations locales. A cela s'ajoute des entretiens avec des acteurs étatiques i.e. des cadres du Ministère de l'Agriculture, Développement Rural et de la Pêche (MADRP), qui sont en relation directe avec les programmes de subvention et irrigation en régions sahariennes. Il s'agit du Ministre de l'Agriculture, Directeur central chargé des Zone Aride et Semis Aride (DZASA) Directeur

Central chargé de la Formation, Recherche et Vulgarisation. En m'inspirant des travaux sur l'analyse des systèmes d'innovation (Akrich, 1988 ; Benouniche, 2014), je me suis intéressé dans un premier temps à interviewer non seulement les acteurs actifs dans cette filière de fabrication du pivot artisanal : artisans (soudeurs, tourneurs, électriciens) et commerçants, mais aussi des agriculteurs utilisateurs de ce pivot. Pour ce faire, j'ai effectué une enquête de terrain durant la 2014/2015 auprès de 24 agriculteurs utilisateurs du pivot artisanal (voir tableau 1). Ces exploitations ont été choisies parmi les utilisateurs des pivots artisanaux et ce, selon trois catégories grands investisseurs, petits investisseurs et fellahs (cultivateurs) pour représenter les différentes stratégies d'utilisation du pivot artisanal, notamment le nombre de pivots installés et les systèmes de culture pratiqués. Les observations ont permis de décortiquer les composants du pivot, de retracer le ceps de métiers et d'identifier les compétences impliquées dans cette filière. Sur la base de cela des entretiens semis directifs avec des artisans et commerçants ont été réalisés.

La troisième étape, tel que nous l'avons fixé dans nos objectifs, consistait en l'étude de la performance hydraulique dans une perspective de proposer des voies d'amélioration à ce dispositif. Dans la littérature nous trouvons des travaux effectués sur l'aspersion, notamment le pivot, dans lesquels des expertises pointues ont été développées. Certains chercheurs ont mené des mesures *in situ* sous pivot, pour l'étude de l'uniformité de distribution d'eau par exemple ou encore pour la détermination des indices précis tel que l'évaporation, ruissèlement ou effet de vent (Yan et al., 2010). Le travail de (Ezequiel Saretta et al, 2017) m'a inspiré de travailler sur l'uniformité de distribution « *Ceci en raison que le rendement et la qualité de la plante est fortement corrélé à l'uniformité de la distribution de l'eau, ce qui en fait un paramètre de conception clé* » (*ibid*). Dans cette thèse, j'ai donc dans un premier temps évalué *in situ* l'uniformité de distribution du pivot artisanal. En lien avec ça, le rôle que montre Benouniche (2016) d'une entrée pluridisciplinaire dans l'évaluation de la performance hydraulique m'a inspiré à réaliser des entretiens avec des 24 agriculteurs et 6 artisans.

Enfin, je me suis inspiré du travail de Saretta et al. (2017), qui ont réalisé des essais du comportement des organes d'arrosage sur banc d'essais, pour employer le laboratoire de l'INSID dans lequel j'étais en détachement, afin de caractériser et tester des organes d'arrosages utilisés dans le pivot.

Tableau 1: Enquêtes et mesures réalisées dans le cadre de la thèse.

Chapitre	Démarche	2015/2016	2016/2017	2017/2018
III-système agraire	Enquête	/	35 exploitations agricoles	35 exploitations agricoles
	Entretiens		6 grainetiers ; 5 ingénieurs salariés des firmes privées ; 3 cadres DSA ; 1 Taleb (imam) ; 1 Chikh Zaouïa ; 1 ex-Kateb (écrivain public); 1 directeur de la CASAP.	Ministre MADRP ; Directeur central DZASA (MADRP) ; Directeur central DFRV (MADRP)
IV -processus d'innovation	Enquête	24 exploitations agricoles	/	/
	Entretiens	10 artisans ; 4 commerçants	/	/
V-performance hydraulique	Entretiens	24 agriculteurs; 10 artisans	/	/
	Mesures in situ	3 essais sur pivot de 50m		
	Mesures au laboratoire débit –pression pluviométrie		281 /	/ 10

II.1.2 Déroulement de l'approche

↳ Enquêtes et entretiens

Pour entamer le travail d'enquête il fallait d'abord faire un choix de la zone d'étude. A ce propos, la première prospection de terrain remonte à mes missions effectuées avec l'équipe de BNEDER. Ces missions m'ont beaucoup servi par le fait que j'ai pu visiter douze communes et constituer mon carnet adresse par une prise de contact avec des cadres de la DSA et la collecte des données mais aussi en m'approchant d'autres personnes ressources, des ingénieurs technico-commerciaux des firmes privées notamment, auprès des quels j'ai par la suite réalisé des entretiens.

Le choix des communes d'études s'est basé sur (i) les informations existantes dans des études réalisées sur la région du Souf, notamment Bataillon (1960) et Côte (2006) ; (ii) les observations de terrain, lors des deux missions, avec le BNEDER, durant la campagne 2011/2012 ; (iii) des données relatives aux statistiques agricoles collectées à la DSA, puis actualisées continuellement chaque année ; (iv) les entretiens réalisés avec 4 cadres administratif en 2014 et les personnes ressources ; et (v) la carte d'occupation réalisée par l'INSID mise à ma disposition une fois que j'ai rejoint cet institut en 2013. Trois communes ont été retenues, à cet égard :

- Les communes de Guemar et Reguiba constituent des territoires où les premiers pivots artisanaux furent fabriqués et adaptés progressivement aux réalités socio-économiques de la région.
- La commune de Hassi Khalifa est actuellement leader de la filière pomme de terre sous pivots ; environ 25 % de la production de la wilaya d'El Oued y est concentrée. Les superficies emblavées dans la commune sont passées de 125 ha en 2004 à 8 000 ha en 2013, pour une production totale de 269 364 tonnes sur un total de 1 172 500 tonnes pour l'ensemble de la wilaya.

Comme illustré dans le tableau, nous avons mené une première série d'enquête et entretiens en 2014/2015, dont principal objet était d'étudier le processus d'innovation (chapitre 4). Une enquête auprès de 24 exploitations agricoles a été effectuée dans la commune de Hassi Khalifa pour comprendre les différentes stratégies d'utilisation du pivot artisanal notamment le nombre des pivots installés et les systèmes de culture pratiqués (tableau 1). Les observations effectuées dans ces 24 exploitations ont permis de décortiquer les différentes composantes du pivot artisanal et de suivre les flux de ses composants, tout en recensant les différents acteurs impliqués. Par la suite nous avons réalisé des entretiens semi directifs auprès de ces 24 agriculteurs de Hassi Khalifa, ainsi qu'auprès de 10 artisans locaux et 4 commerçants dans les deux communes de Guemar et Régiba. Trois principaux axes ont structuré ces entretiens :

- une première partie était en relation avec la fabrication du pivot dans les ateliers et l'installation au niveau des parcelles : (i) l'approvisionnement en pièces détachées ou composants de base ; (ii) la fabrication de chaque composant ; et (iii) l'assemblage, le montage et installation des pivots artisanaux.

- la deuxième partie a concerné la conception du dispositif, notamment la chronologie des adaptations et réglages apportés dans les parcelles et ateliers.
- enfin, le volet performance hydraulique a été aussi abordé lors de ces entretiens. Deux principaux aspects ont été détaillés : (i) l'adaptation du plan de busage par les artisans et les expérimentations menées par ceux-ci sur la parcelle ; et (ii) le réglage des organes d'arrosage par les agriculteurs. Nous avons jugé utile d'analyser ces aspects, d'une part car ils montrent l'influence des comportements des artisans et agriculteurs sur la performance. D'autre part pour prendre en considération leurs logiques et intéressement dans les voies d'amélioration que nous allons proposer par la suite.

En complémentarité avec l'analyse du processus d'innovation, la deuxième enquête avait pour objectif d'étudier la transformation agraire accompagnée par la diffusion massive du pivot artisanal et l'implication des jeunes dans l'agriculture entrepreneuriale émergée. Pour ce faire nous avons mené une deuxième campagne d'enquêtes et entretiens durant les deux années 2016 et 2017. D'abord une « enquête exploitant » auprès de 35 exploitations agricoles. Elle a porté sur quatre principaux volets : i) le profil d'origine de l'agriculteur ; ii) sa trajectoire personnelle ; iii) le financement de l'exploitation ; et iv) l'accès aux ressources productives ainsi que le fonctionnement de leur exploitation. L'intérêt de cette enquête réalisée en deux phases c'est qu'elle a coïncidé avec deux situations différentes d'évolution des prix de la pomme de terre sur le marché. D'abord une chute des prix sur le marché en 2015/2016 puis leur remontée la campagne d'après. Ceci nous a menée à reprendre l'enquête avec les mêmes agriculteurs pour distinguer les stratégies d'adaptions au défi du marché. L'intérêt de cela réside dans le fait que cette évolution des prix est très déterminante dans les dynamiques agricoles, et aussi pour la vente des pivots artisanaux. Nous avons aussi mené une deuxième « enquête filière » auprès des acteurs qui sont liés à la filière (voir tableau 1). A cela s'ajoute des entretiens réalisés avec des anciens, âgés de plus de 65 ans, connaisseurs de l'agriculture du Souf et de la nouvelle dynamique. Aussi, grâce à mon statut d'ingénieur fonctionnaire à l'INSID (sous tutelle de MADRP) j'ai pu participer à de nombreux rencontres, ateliers, forum et réunions. Dans une optique d'avoir idée sur la vision des décideurs étatiques envers le pivot artisanal et la dynamique du Souf, j'ai saisi ces opportunités en interviewant des cadres du MADRP (voir tableau 1).

↳ *Essais et mesures*

A- Les mesures in situ

Pour étudier la performance hydraulique du pivot artisanal à partir de réalités de terrain la démarche suivante a été retenue après les entretiens : évaluer à travers des mesures in situ l'uniformité de distribution d'eau d'un pivot. Pour ce faire, un protocole expérimental suivant la norme ISO 15545 et des fiches de diagnostic ont été élaborés et utilisés. Il convient aussi de rappeler que cette norme a été mise à ma disposition compte tenu que j'occupais un poste d'ingénieur d'Etat à l'INSID.

L'un des artisans nous a orienté vers l'un de ses pivots, fabriqué et installé en 2013. Il s'agit d'un pivot de 50 m, le modèle le plus observé et largement répandu dans le Souf, selon les artisans et agriculteurs interviewés, en parfait état et utilisé lors de sa deuxième campagne. Notre travail porte sur l'analyse de l'uniformité de distribution d'eau sous ce pivot, sans prendre en considération l'effet de vent, raison pour laquelle nous avons préalablement consulté les prévisions météorologiques et choisis des journées à vitesse de vent nulle. Les essais ont été réalisés entre le 13 et 14 mai 2015, avec vérification préalable de la vitesse de vent qui est restée inférieure à 2 m/s. Deux rangées de collecteurs ont été placées tout au long du pivot (figure 5). Pour s'adapter aux critères de ce pivot, sa longueur de 50 m et la portée des asperseurs observée inférieure à 10 m, nous avons appliqué un espacement de 2.5 m entre les collecteurs et un décalage, débutant avec 1.25 m à partir de l'axe du pivot, a été calculé puis appliqué entre les deux lignes. Ceci a été déterminé suivant l'échelle de la norme qui prend en considération la longueur du pivot et la portée de l'arroseur.

Les collecteurs d'eau utilisés avaient un diamètre de 16 cm et leur contenu a été versé dans une éprouvette graduée pour lire les volumes d'eau reçus (voir annexe 1). Pour s'assurer de l'exactitude des résultats et tel que le dicte la norme ISO trois répétitions ont été effectuées. La formule de Christiansen (CU) a été utilisée pour le calcul de l'uniformité de distribution. Plus le coefficient est proche de 100 %, plus l'uniformité est bonne.



Figure 5: Application du protocole expérimental in situ suivant la norme ISO.

$$D = \frac{1}{n} \times d$$

D : décalage entre ligne

n : nombre de ligne

d: distance entre collecteurs

$$CU(\%) = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (h_i - h_m)}{h_m} \right)$$

Avec :

- h_i : hauteur d'eau ou pluviométrie au niveau du collecteur i (mm) ;
- h_m : hauteur d'eau ou pluviométrie moyenne appliquée sur la zone arrosée (mm) ;
- n : nombre de collecteurs.

En sachant que :

$$h = \frac{V}{S}$$

Avec :

- V : volume collecté en litre (l)
- S : Section d'ouverture des collecteurs (m^2) = 0.0256 m^2 pour chaque collecteur.

B- Mesures au laboratoire

L'objectif à travers ces séries de mesures sur un banc d'essais dans un laboratoire spécialisé est d'étudier le comportement des organes d'arrosages montés sur le pivot et de les caractériser. En réalité, la nécessité de cette caractérisation nous est apparue suite aux résultats obtenus à partir des entretiens et mesures in situ (réalités de terrain) en particulier : (i) l'uniformité obtenue (CU = 70 %) est assez encourageante pour un dispositif artisanal et peut être améliorée en travaillant sur les arroseurs ; et (ii) les agriculteurs sont attirés par un tel modèle d'organe d'arrosage car il est peu coûteux, disponible et surtout flexible grâce aux possibilités de réglage des arroseurs. Le problème rencontré, pour la proposition des améliorations, c'est que nous avons affaire à des organes d'arrosage chinois non caractérisés et non accompagnés par une fiche technique, d'où l'importance de leur caractérisation dans un laboratoire spécialisé. Une opportunité venait se présenter avec mon détachement, pour nécessité de service, au laboratoire de l'INSID pour une durée de huit mois. J'ai été formé par mes collègues sur la conduite des essais sur le banc d'essais mis à ma disposition ainsi que l'utilisation des normes ISO. Il convient de signaler que dès le moment où nous nous sommes engagés au service des initiatives locales, ceci nous a directement impliqués dans le processus d'innovation. A cet effet saisir une telle opportunité et s'en servir pour proposer des voies d'améliorations à un dispositif hydraulique évolutif dans le temps et étendu dans l'espace, est d'une importance capitale pour promouvoir et accompagner le développement agricole.

II.1.3 Présentation du laboratoire d'essais

Il s'agit d'un laboratoire spécialisé dans le contrôle des caractéristiques techniques des équipements d'irrigation. La réalisation de ce laboratoire s'inscrit dans le cadre du protocole d'accord de coopération algéro-espagnole. La partie Espagnole a assuré l'expertise à travers l'équipement du laboratoire en bancs d'essais et la formation des cadres pour leur maîtrise et usages (figure 6). « *Le coût global du projet demeure insignifiant eu égard à ce qu'il procure en terme de rentabilisation et/ou de protection de l'économie nationale notamment en matière de développement agricole en général et de l'irrigation en particulier* » (Cadre INSID, chef du projet de la mise en place du laboratoire). Le laboratoire a été inauguré le 20 juin 2011 par le ministre de l'époque, Dr. Rachid Ben Aissa, et M. l'Ambassadeur d'Espagne en Algérie, en présence des cadres du MADRP, la partie espagnole (Tragza Groupe et AECIE), certains

fabricants et fournisseurs de matériels d'irrigation et les équipementiers (Groupe Chiali, Groupe Anabib et Groupe Kharbouche etc.), aussi en présence du chef de la commune d'El Mohamadia.

L'objectif global recherché est l'amélioration de l'efficacité d'irrigation à travers un contrôle de la conformité des équipements d'irrigation en les comparant aux fiches techniques fournies par les fabricants. Le laboratoire représente un système de contrôle normalisé, suivant des normes ISO. Il a aussi pour mission de participer aux activités du comité d'adaptation des normes ISO au contexte algérien, de former des cadres en matière de technologie d'irrigation et assurer l'appui technique aux agriculteurs.



Figure 6: Laboratoire du contrôle des caractéristiques techniques des équipements d'irrigation - INSID (source : INSID, 2011).



Figure 7: Installation des bancs d'essais avec l'assistance de la partie espagnole (source : INSID, 2011).



Figure 8: Inauguration du laboratoire par le Ministre du MADR, le Directeur de l'INSID et l'Ambassadeur d'Espagne (Source INSID, 2011).



Figure 9: Formation des cadres de l'INSID par la partie espagnole sur les bancs d'essais (manipulation, automatisation, interprétation etc.) (Source : INSID, 2011).



Figure 10: Banc d'essais goutte à goutte.

Type de testes

- Coefficient de variation de la fabrication.
- Courbe débit – pression ;
- Uniformité des débits à la pression nominale ;
- Sensibilité du débit aux variations de pression

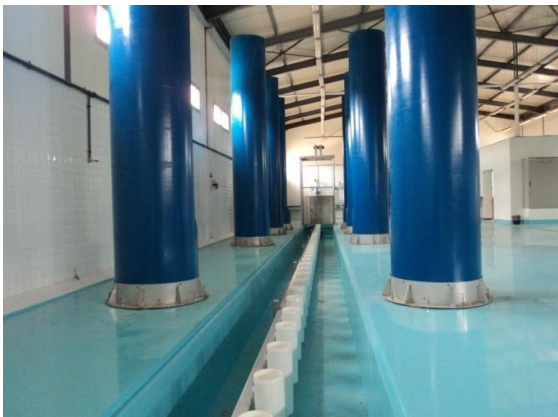


Figure 11: Banc d'essais d'aspersion.

Type de testes

- courbe de distribution
- courbe débit – pression
- déterminer les caractéristiques hydrauliques de l'aspersion (portée, pluviométrie horaire, plage de fonctionnement débit-pression)



Figure 12: Banc d'essais durabilité de l'aspersion.

Type de teste

- Vérifiés La résistance des pièces à l'usure



Type de testes

- Détermination de la résistance à la pression interne des tuyaux
- Détermination de la quantité du noir de carbone
- Détermination de la dispersion du noir de carbone
- Détermination du temps d'induction à l'oxydation
- Détermination de l'indice de fluidité à chaud en masse et en volume
- Détermination des caractéristiques géométriques
- Calcul du retrait longitudinal à chaud
- Résistance à la fissuration sous contrainte et insert

Figure 13: Equipements banc d'essais résistance des matériaux.

II.1.4 Déroulement des essais au laboratoire

Les essais ont été réalisés sur le banc d'essais d'aspersion, conçu pour déterminer la courbe de distribution, la courbe débit-pression et le coefficient d'uniformité selon la norme ISO15886 - . Il comporte un dispositif de réglage débit-pression relié à un automate, relié à son tour à la station de pompage. L'automate permet de régler la fréquence et la vitesse de la pompe (figure 14 et 15). Pour assurer le bon déroulement des essais, certaines précautions recommandées par la norme ISO ont été prises en compte, notamment éviter les périodes où les conditions climatiques sont extrêmes en particulier la forte évaporation. Par conséquent les essais débit-pression et pluviométrie se sont donc déroulés durant les mois d'octobre jusqu'à

mai dans des températures variant entre 12 jusqu'à 25°C et taux d'humidité maximal de 65 %. Quant à la température de l'eau elle n'a pas dépassée les 15°C. Aussi la mise en fonction durant une heure des arroseurs pour conditionnement avant chaque essai ainsi que les exigences durant les essais, dictés par la norme ISO, ont été respecté (tableau 2).

Tableau 2: Exigences selon la norme ISO pour la réalisation des essais sur banc d'essais aspersion.

Paramètre	Exigence
La variation de la pression durant l'essai	$\leq 4\%$
Précision de la mesure de la pression	$\pm 1\%$
Précision de la mesure du débit	$\pm 2\%$
La variation de la température et humidité durant l'essai	$\pm 5\%$
Précision de la mesure de la température d'eau	$\pm 5^\circ\text{c}$
Lecture de la pression se fait	200 mm au-dessous de la buse d'arroseur

En général, la réception des équipements à tester s'accompagne obligatoirement d'une fiche technique fournie par le fabricant, décrivant les caractéristiques en particulier sa plage de fonctionnement. Dans notre cas, le modèle d'arroseur en question, un microdiffuseur, ne comporte ni fiche technique ni numérotation ou graduation indiquant le niveau d'ouverture de la buse. Raison pour laquelle avant d'entamer les essais, nous devons réfléchir à une façon adéquate pour avoir des repères indiquant le niveau d'ouverture.

Un traçage préalable des segments et numérotations des façades, sur chacun des 5 arroseurs ayant fait l'objet des essais, a permis d'avoir des repères et régler le niveau d'ouverture souhaité (figure 16). Aussi nous avons procédé à des tests témoins sur un arroseur où l'application d'une pression de 0,5 bar correspondait à un débit 0 m³/h durant les essais. Par conséquent, nous l'avons éliminé, et nous avons pris celle de 1 bar comme seuil minima (P min). Suite à cela, nous avons commencé la deuxième série de mesures (essai de comportement débit- pression). L'ensemble du dispositif (manomètre et débitmètre reliés à l'automate) a permis de régler la pression souhaitée puis d'enregistrer le débit correspondant. Au final pour cette deuxième série de mesures (essais débit-pression) une gamme de pression de 0.5 jusqu'à 4 bar a été appliquée, sur 5 arroseurs en variant le niveau d'ouverture de 0.5 jusqu'à 3.5 tours soit au total 281 mesures ont été réalisées.



Figure 14: Sélection et réglage de la pompe à partir de l'automate du banc d'essais aspersion.



Figure 15: Station de pompage du laboratoire.



Figure 16: Traçage des repères sur les microdiffuseurs.



Figure 17: Application des pressions de pressions de 1 à 4 bar et enregistrement des débits.



Figure 18: Microdiffuseur monté sur banc d'essais et mise en essai.

Par la suite, sur la base de la plage de fonctionnement obtenue par les essais débit-pression nous avons enchainé avec la troisième série de mesures (essais pluviométriques). Comme le recommande la norme ISO le passage au conditionnement (d'une durée de 1h) avant chaque essai a été respecté. Il convient ici de souligner que pour la réalisation des essais pluviométriques nous avons opté pour l'application d'un maillage carré (i.e. disposition en quadrillage 9m x 9m) des pluviomètres et pas en radiale, celle du banc d'essais aspersion. Le recours à une disposition en maillage 9x9, comportant 81 point de mesures, et non pas radiale se justifie par le besoin de caractériser la distribution spatiale de l'arroseur du fait de son hétérogénéité de fonctionnement. Ce maillage carré nous permet une meilleure appréciation de la symétrie de distribution et sa conséquence sur la distribution finale lorsque cet arroseur se déplace avec le pivot. Ceci sera obtenu en simulant, à partir d'un essai à poste fixe du dispositif d'arrosage, le profil pluviométrique de l'arroseur lorsqu'il est en déplacement avec la rampe. Nous avons donc cumulé les valeurs obtenues sur les lignes et les colonnes du maillage.

A partir de la simulation d'un arroseur on pourra dans une seconde étape simuler le profil pluviométrique de l'ensemble du pivot, puis celui du busage que nous allons proposer. Pour ce faire, nous avons réalisé des essais pluviométriques à l'aide d'un dispositif, relié au banc d'essais d'aspersion. Nous avons préalablement adapté, mis au point et vérifié ce dispositif. Il prend en compte la hauteur moyenne du pivot artisanal, d'où un montage de l'arroseur sur un support d'aspersion lors de l'essai (figure 19 et 20). Deux types d'essais ont été réalisés :

- (i) Essais sélectifs : trois arroseurs réglés à égale ouverture (avec un maximum de 2.5 tours) et mis à égale pression de 2 bar. Ceci a permis le choix d'un arroseur moyen ;
- (ii) Deux essais sur arroseur moyen : (a) fixer la pression et varier le niveau d'ouverture. Cet arroseur moyen a été soumis à une même pression de 2 bar (compatible avec ce qu'on trouve sur les grands pivots). Les essais des différents niveaux d'ouverture, de min jusqu'à max, ont été réalisés avec cette pression. (b) Fixer le niveau d'ouverture et varier la pression. Inversement aux précédents essais nous avons fixé la buse de l'arroseur moyen à l'ouverture max de 2.5, puis nous avons appliqué les deux pressions 1 et 1.5 bar.

Ces essais sont réalisés dans l'objectif d'évaluer, pour les couples (niveaux d'ouverture, pressions) de la plage de fonctionnement déterminée, le comportement pluviométrique du microdiffuseur. Cela permettra, ainsi qu'avec les résultats des essais débit-pression, de constituer une base de données pour simuler la distribution et atteindre la perspective qu'on s'est fixé, à savoir l'amélioration de la performance du pivot artisanal. Au total 10 essais ont été réalisés, pour cette troisième série de mesures de pluviométrie, avec 81 points de mesures pour chaque essai (9 lignes/9 lignes).

Le pesage des pluviomètres avant essai (poids vides) et après essais a été enregistré dans un fichier Excel (voir figure 21). Aussi une codification préalable des pluviomètres a permis la maîtrise de leur répartition i.e. Les mettre dans leurs emplacements initiaux au début de chaque essai.



Figure 19: Adaptation et vérification du dispositif d'essai.

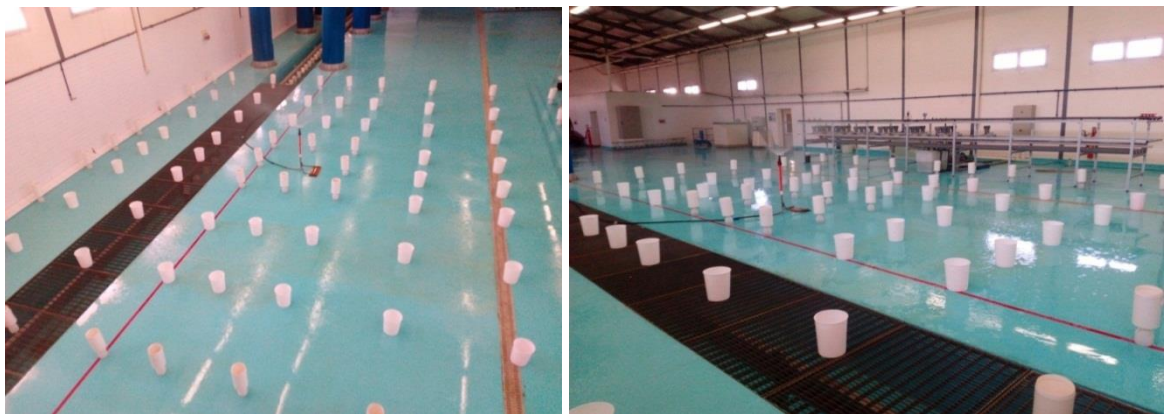


Figure 20: Mis en place du protocole de mesure ; disposition en maillage des pluviomètres.

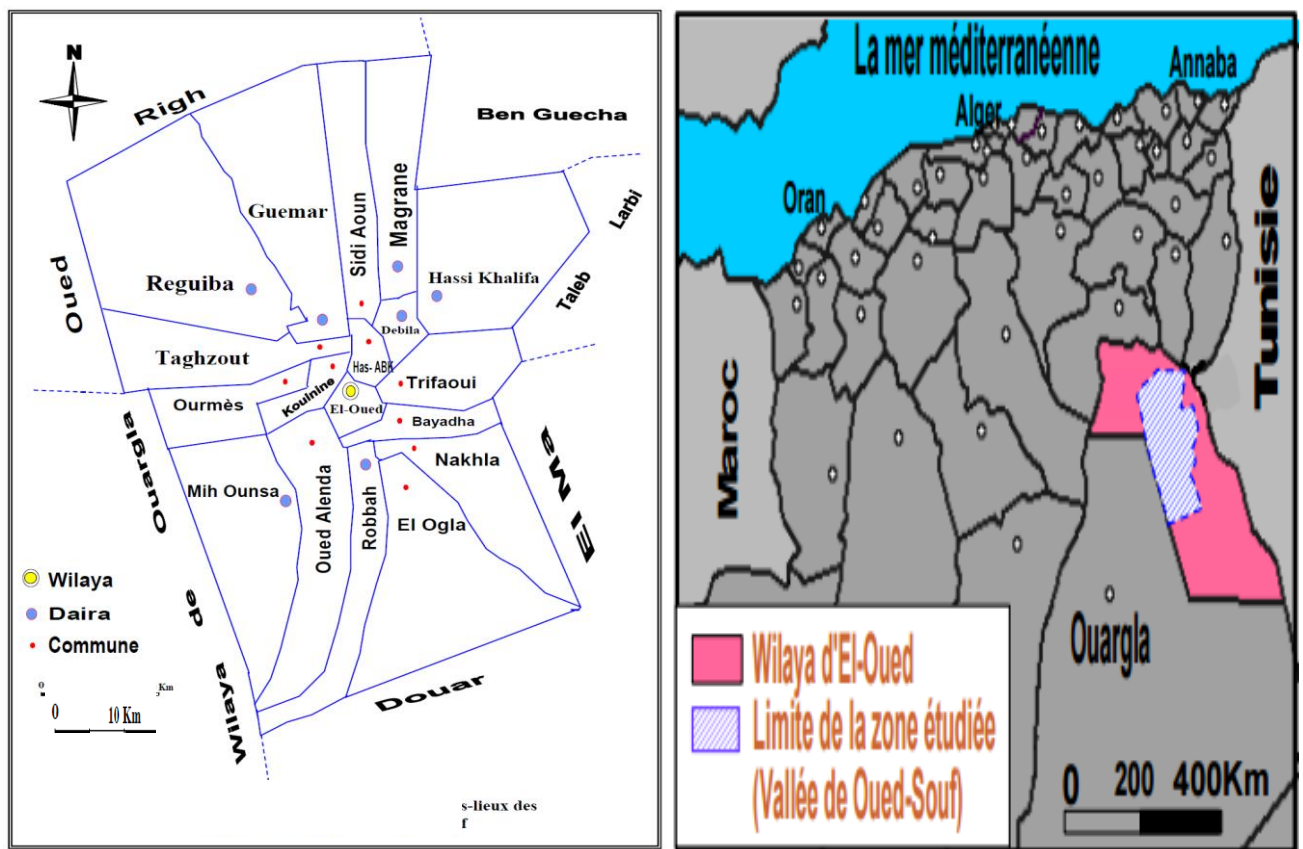


Figure 21: Pesée des pluviomètres avant et parés essais et enregistrement sur place des résultats.

II.2 Description de la zone d'étude

II.2.1 Situation géographique et démographie

La wilaya d'El Oued se situe au Sud-est algérien et couvre une superficie totale de 4 4 586 km². Elle se trouve à environ 700 km au Sud-Est d'Alger et 350 km à l'Ouest de Gabes (Tunisie) (Khechana, 2008). Elle est limitée : (i) au Nord par les wilayas de Biskra, Khenchela et Tébessa (ii) à l'Est par la Tunisie (ii) à l'Ouest par les wilayas de Biskra, Djelfa et Ouargla. La vallée d'Oued-Souf est une partie de la wilaya d'El Oued et se trouve dans les confins septentrionaux de l'Erg Oriental (33° à 34° N et 6° à 8° E). Elle est limitée à l'Est par l'immense chott tunisien El-Djérid, au Nord par les chotts Merouane, Melrhir et Rharsa, à l'Ouest par la trainée des chotts d'Oued Rhir et au Sud par Ouargla (Oued Maya) (Voisin, 2004). Cette vallée occupe une superficie de 11 738 Km², représente 18 communes (Khechana, 2008).



Source : Khachana, 2008

Figure 22: Situation géographique de la vallée d'El-Oued et sa répartition administrative par commune.

La wilaya d'El Oued totalise une population de 504 401 habitants (RGPH, 2008), enregistrant un taux d'accroissement annuel égal à 2,6 % par rapport de 1998 à 2008 (RGPH, 1998) et dépassant le taux moyen national (1,6%). Au début 2015, la population totale a été estimée à 771 900 habitants (DPSB, 2018). La densité de population est de 17.31 habitants/km² ce qui est proche des autres wilayas sahariennes. La wilaya concentre 76.51 % de sa population en agglomération chef-lieu. Le reste s'étale sur les agglomérations secondaires avec 19.11 % et dans des zones éparses 4.38%.

Tableau 3: Recensement démographique de la wilaya d'El OUED.

Paramètre	Wilaya d'El Oued		
Evolution population	Population RGPH 1998 (hab.)	504 401 habitants	
Evolution population	Population 2008 (hab.)	647547 habitants	
	Taux d'accroissement annuel (%)	2,6	
Densité population	Population au 31/12/2014	771 900 habitants	
	Superficie (Km ²)	44 586,8	
	Densité (Hab. / km ²)	17,31	
Dispersion population	Agglomération chef-lieu	590 575 Hab.	76,51 %
	Agglomérations secondaires	147 530 Hab.	19,11 %
	Zones éparses	33 795 Hab.	4,38 %

Source : DPSB, 2014 ; BNEDER, 2018.

II.2.2 Souf : mythe et développement agraire

Depuis le début de XX^{ème} siècle le Souf, avec ses Ghouts, dunes et coupes, inspire et attire des auteurs (Lehuraux, 1934, Daviault, 1947, Agier, 1949, Batallion, 1961, Bensaada, 2005, Rémini, 2006, Côte, 2006, Zella, 2006). *‘‘El-Oued ! voici donc la ville aux mille coupes, cité mystérieuse d'une éblouissante blancheur, où l'inoubliable Isabelle Eberhardt sentit s'éveiller en elle sa magnifique passion du Sud !’’* (Lehuraux, 1934, p. 60). Ces auteurs ont décrit l'ingéniosité du Ghout et son équilibre avec le milieu physique.

L'économie de la vallée d'El Oued était essentiellement basée sur la culture du palmier dattier, dont une grande partie était localisée dans des Ghouts (Ould Rebai et al., 2016). Ce système de plantation de palmier dans des cuvettes creusées à main d'homme, permettait, d'une part, le captage et le prélèvement direct de l'eau d'irrigation, à partir d'une nappe peu profonde, et sans recours au pompage *‘‘Dans le Souf ce n'est plus la conquête de l'eau qui domine les préoccupations des indigènes ; c'est la conquête du terrain libre’’* (Lehuraux, 1934, p. 60). Il permettait, d'autre part de créer un microclimat permettant le développement, à l'abri des siroccos et des insulations, d'autres cultures notamment des cultures industrielles : tabac et arachides et maraichères. Ces cultures étaient irriguées en mode séguia à partir des puits à balancier « Khottara » à traction animale. Ce système de production oasien a contribué à la mise en place d'une vocation oasienne productive et d'une base de vie autonome dans la vallée d'Oued Souf. Cependant, certains parmi ces auteurs ont aussi évoqué sa fragilité compte tenu d'abord de sa connexion avec la nappe phréatique et donc fortement influencé par le niveau de rabattement ou de remontée de cette dernière. Aussi, la confection des Ghout était laborieuse car elle demandait une importante main d'œuvre. Le creusement des cuvettes se faisait manuellement par des ouvriers, les « Rammals », qui restent jusqu'à ce jour le symbole de l'endurance du paysan Soufi, et ce façonnage exigeait un entretien permanent pour l'évacuation hors des cuvettes des dépôts de sable. Aussi, la réalisation et l'entretien des rigoles de séguias, sur les petites superficies consacrées aux cultures industrielles et maraichères, étaient des procédés rudes et coûteux, nécessitant un suivi continu et une présence permanente de l'agriculteur dans son exploitation, et une main d'œuvre non seulement pour l'aménagement des rigoles mais aussi pour l'évacuation continue des dépôts de sables.

Malgré ces difficultés les Soufi produisaient et exportaient vers l'Europe, comme il sera développé dans le chapitre 4, une économie basée sur l'agriculture avec quelques recettes générées par l'artisanat et le commerce (voir tableau 1 chapitre 4). En termes de populations

les auteurs mettent en avant que le début du XX^{ème} siècle période coloniale ait été le début d'une transformation sociale en raison de la sédentarisation des nomades en particulier l'Arche Rabaï (Lehuraux, 1934, Daviault, 1947, Agier, 1949, Batallion, 1961, Batallion et al., 1963) : *'La population est passée de 2100 personnes en 1887, 109 741 en 1918. Si l'on base sur le genre de vie le territoire du Souf comprend près de 39 000 nomades et 70 741 sédentaires'* (Agier, 1949, p. 3).

Aussi et comme il sera développé dans les prochains chapitres (chapitre 4, notamment), selon Bataillon (1961) en plus de cette transformation sociale, la transformation agraire devient remarquable au milieu du XX^{ème} siècle. C'est une agriculture destinée au marché qui est promu à travers la politique coloniale, visant la plantation des nouvelles palmeraies pour produire des variétés de dattes à forte valeur ajoutée, en particulier la Deglet Nour. Elle était destinée majoritairement à l'exportation, contrairement aux variétés de consommation locale en particulier la variété Ghars. Après l'indépendance, et dans une ambition de promouvoir le développement agricole (phoeniculture, maraichage, céréales, etc.) dans les zones Sahariennes divers programmes étatiques de subvention et accompagnement ont été lancés depuis les années 70. Le Souf a bénéficié de ces programmes, et comme dans la majeure partie des régions sahariennes l'introduction des modèles importés (grands pivots, vaches laitières pie noire, bâtiment d'élevage avicole en batterie,..) n'a pas toujours réussi en raison de la non adaptation avec les conditions biophysique ou encore sociotechnique de ces régions (voir chapitres 3 et 4). Cependant, dans cette région du Souf c'est le développement du maraichage qui devient très remarquable depuis l'an 2000, en particulier la culture de pomme de terre. Selon les chiffres officiels (DSA, 2018), aujourd'hui, on compte plus de 36 000 ha de PDT produite dans près de 10 500 exploitations agricoles, majoritairement irriguées par pivot artisanal.

II.2.3 Relief

La topographie de la région d'El Oued est très vallonnée, avec des zones basses et des dépressions (A.N.R.H., 1993 ; Zouini, 2006). L'altitude diminue du Sud vers le Nord et de l'Ouest vers l'Est pour devenir négative au niveau des chotts (Khechana, 2008). L'altitude moyenne de la région du Souf est de 80 mètres avec une diminution notable du sud au nord pour atteindre 25 mètres au-dessous du niveau de la mer dans la zone des chotts qui occupent le fond de l'immense bassin du bas Sahara (ANRH, 2005). Généralement le relief de la vallée d'El Oued est caractérisé par l'existence de trois principales formes :

- Une région sableuse : caractérisée par les massifs dunaires 'l'Erg';

- Une forme de plateaux : qui s'étend vers le Sud avec une alternance de dunes et de crêtes rocheuses ;

Une zone de dépression : caractérisée par la présence d'une multitude de chotts qui plongent vers l'Est.

II.2.4 Climat

La caractérisation du climat du terrain d'étude a été réalisée sur la base des données chronologiques de la station météorologique représentative qui est celle d'El Oued. La série de données s'étalant sur une période de 25 ans, de 1990 jusqu'à 2015, année durant laquelle les mesures in situ ont été réalisées. Les coordonnées de la station sont:

Attitude 33° 30' Longitude 06° 47' Altitude 62m

↳ Précipitations

Les hauteurs des pluies enregistrées au niveau de la station d'El Oued s'élèvent à 72 mm en moyenne par an. Le mois le plus pluvieux est celui de janvier avec 17.5 mm tandis que le mois le plus sec est le mois de juillet avec une pluviométrie presque nulle, soit 0.4 mm. On note une irrégularité des pluies durant les mois de l'année. Elles sont distribuées de façon hétérogène, le pic étant constaté durant la période hivernale notamment au niveau du mois de janvier.

Tableau 4: Précipitations moyenne mensuelle et annuelle à El Oued sur la période 1990-2015.

mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	année
P (mm)	17.5	2.9	7.5	6.6	4.8	0.9	0.4	2.2	7.0	6.5	7.5	8.1	71.9

Source : ONM, 2015

↳ Températures

Les températures maximales enregistrées correspondent à la période estivale (juillet et août) avec des maximas de 41,4°C et 40,8°C. Quant aux températures les plus basses sont enregistrées durant les mois de décembre, janvier et février avec des minimas de 6.4 jusqu'à 7.6 °C. D'une manière générale, les températures sont élevées durant tous les mois de l'année, reflétant ainsi à la zone un climat aride et chaud avec une importante amplitude thermique annuelle de l'ordre de 36,2°C.

Tableau 5: Températures minimales, maximales et Moyenne à El Oued sur la période 1990-2012.

Mois	T min (C°)	T max (C°)	T moy (C°)
J	7,6	19,8	13,8
F	6,7	19,5	12,9
M	10,6	23,8	17
A	14	28	21
M	19	33	26
J	23,7	38,3	31,2
Jt	26,5	41,4	34,1
A	26,5	40,8	33,7
S	23	36	29
O	17,5	30,14	23,5
N	10,7	23,3	16,6
D	6,4	18	11,6
Moy	16	29,3	22,6

Source : ONM, 2015

↳ *Humidité relative de l'air*

L'appréciation de ce facteur est traduite par le rapport en pourcentage (%) de la tension de la vapeur à la tension maximale correspondant à la température. Elle exprime en réalité l'état hydrométrique de l'atmosphère qui varie beaucoup au cours de la journée. Elle est maximale au lever du soleil, par contre le taux le plus faible est observé en milieu de la journée. L'humidité de l'air augmente pendant les saisons pluvieuses et froides où elle atteint ses valeurs maximales en décembre et en janvier (64 %). Elle diminue progressivement en allant vers la saison chaude et sèche où elle atteint sa valeur minimale pendant le mois de juillet (29%).

Tableau 6: Pourcentage d'humidité relative de l'air à El Oued sur la période de 1990-2015.

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
H (%)	64	53	47	41	35	31	29	32	43	50	58	64

Source : ONM, 2015

↳ *Evapotranspiration potentielle (ETP)*

L'ET_P annuelle est de 1 731 mm/an en moyenne. Durant le mois de pointe elle est de 257 mm (tableau 7).

Tableau 7: Evapotranspiration potentielle mensuelle et annuelle à El Oued estimée par la formulé de de Penman - Montheith à partir de la série de donnée 1990 – 2015.

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Total
ETP (mm/mois)	41	67	122	169	222	244	257	231	170	111	59	38	1 731

Source : ONM, 2015

↳ *Vent*

Les vents sont de direction Nord–Ouest vers Sud–Est. La vitesse moyenne enregistrée au niveau de la station d'El Oued est modérée, en moyenne 3 m/s. Les vents de sable (simouns) soufflent de mars à juin et peuvent atteindre un maximum de 4 m/s.

Tableau 8: Vitesse de vent en moyen mensuel et annuel sur la période de 1990-2015.

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	moyenne
Vitesse du vent	2,2	2,7	3,3	4	4,2	4	3,5	3	2,9	2,3	2,3	2,2	3

Source : ONM, 2015

↳ *Insolation*

L'insolation est de 7 à 11 heures/jours ; elle est maximale au mois de juillet avec 11,5 heures/jours et minimale en décembre avec 7,2 heures par jours.

↳ *Synthèse climatique*

Pour notre station, le diagramme montre que la période sèche s'étale sur presque toute l'année compte tenu des températures très élevées et des faibles précipitations (Figure 23). Quant au quotient d'Emberger calculé pour la station d'El Oued, est égal à 7.4, ce qui situe la zone d'étude dans l'étage bioclimatique hyper aride à hiver chaud (figure 24).

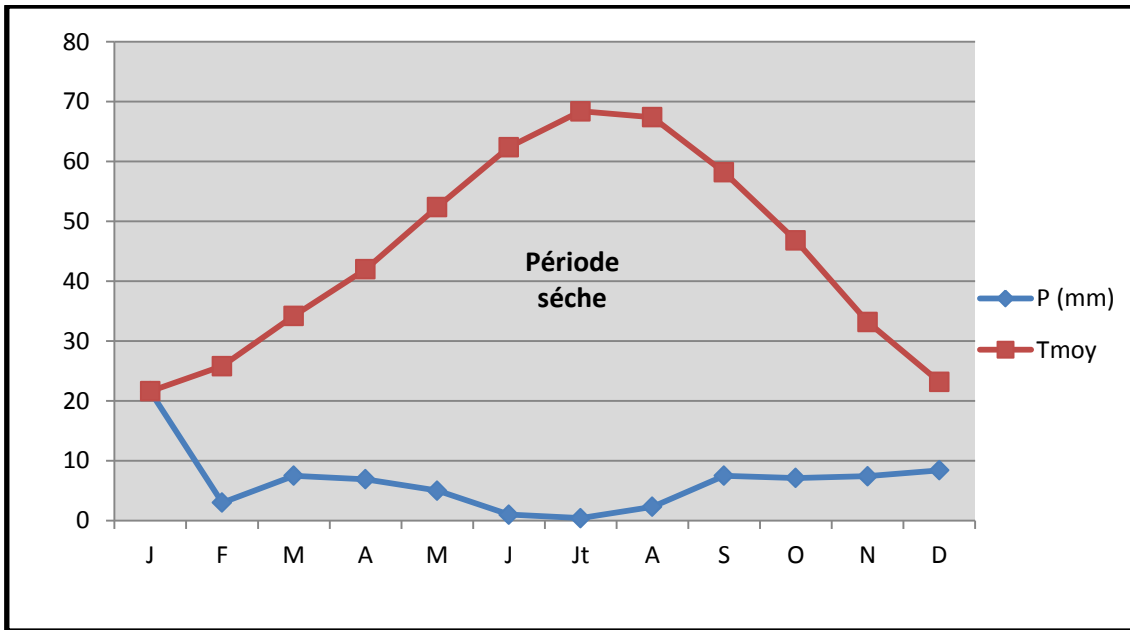


Figure 23: Diagramme Ombro-thermique (P=2T).

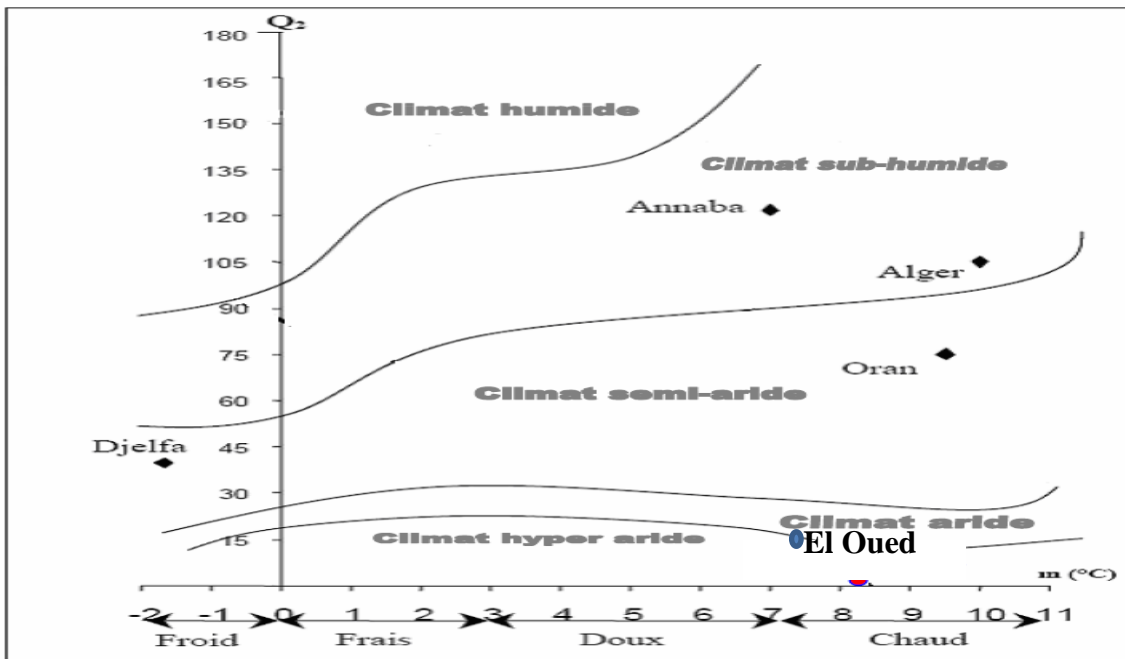


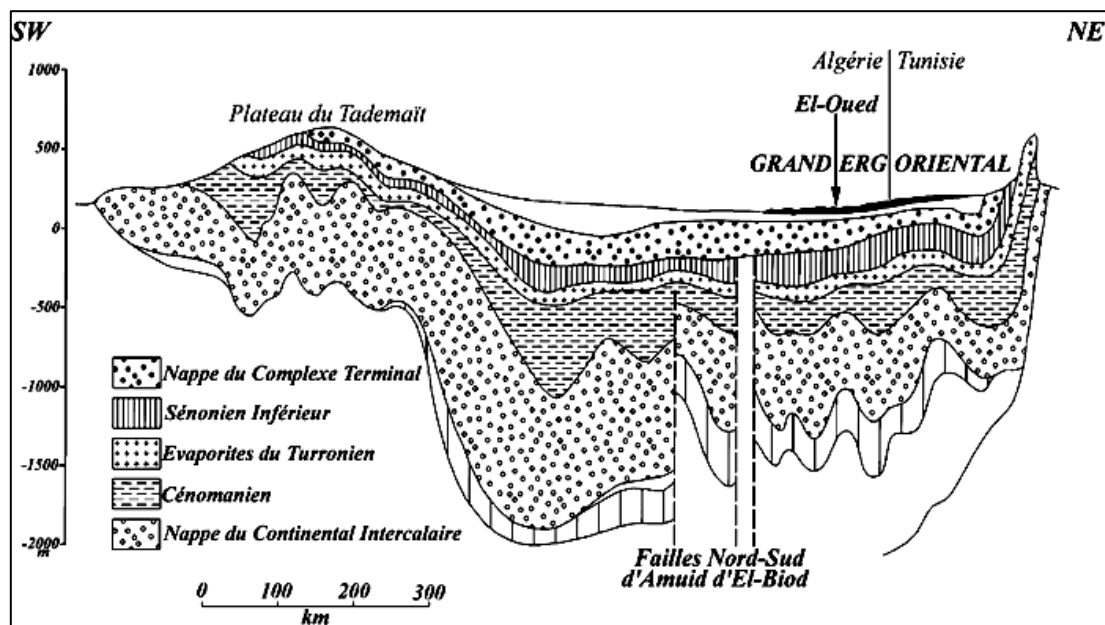
Figure 24: Localisation de la région d'El Oued sur le climagramme.

II.2.5 Ressources en sol et en eau : potentialité, mobilisation et irrigation

Les potentialités en sol de la wilaya d'El Oued sont limitées. Ce sont généralement des sols peu évolués à texture sableuse caractérisés par une perméabilité élevée (Voisin, 2004). Le sable du Souf se compose de silice, de gypse, de calcaire et parfois d'argile (*ibid*). De plus, ils sont généralement minces et pauvres en oligoéléments et en matière organique, ce qui nécessite des travaux d'amendement et l'ajout de fertilisants (BNEDER, 1993 ; Ould Rebai,

2015). A ce propos, comme il sera développé dans les prochains chapitres, les agriculteurs intensifient l'apport en fiente de volaille ainsi que les fertilisants minéraux pour atteindre les rendements souhaités.

Quant au potentiel hydrique, malgré l'absence des ressources en eau de surfaces à cause d'une faible précipitation, un réseau hydrographique peu dense et une lame d'eau ruisselée négligeable ($R= 0.053$), la vallée de Souf dispose d'une réserve hydrique très importante, faisant partie du Système Aquifère Saharien (SAS). Cette dernière est présente sous forme de trois nappes souterraines : la nappe de l'Albien (ou continentale CI), la nappe du complexe terminal (CT) et la nappe phréatique (Côte, 2006 ; Khechana et al, 2010 ; Messekher et al, 2012 ; Ould Rebai, 2015).



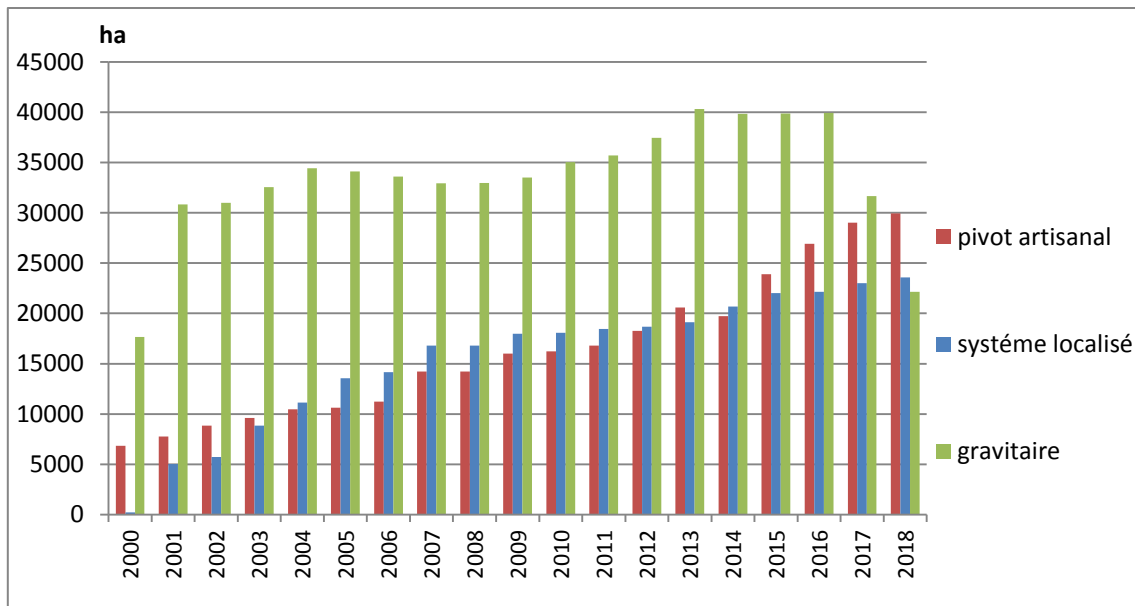
Source : Moula et al, 2005 ; Messekher, 2010

Figure 25: Coupe hydrogéologique du SASS.

Les trois nappes sont intensivement exploitées pour les besoins de l'agriculture et l'Alimentation en Eau Potable (AEP). Selon les chiffres officiels de l'inventaire de la DHW (2011), puis actualisés par l'ANRH en 2013, les débits extraits sont estimés à 500 millions m^3 /an, dont 20% pour l'AEP et 80% pour l'irrigation. La nappe de mio-pliocène fournit à elle seule plus de 94 % de ces volumes, la nappe du pontien 3,3 % et enfin vient celle de l'albien avec un taux de 2,1%. Les deux premières nappes appartiennent à l'aquifère du complexe terminal alors que la dernière appartient à celui du continental intercalaire. Parmi les 600 forages destinés à des fins d'irrigation, 484 sont exploités avec un bon à moyen état et 116 sont à l'arrêt (*ibid*). La majeure partie de ces forages sont situés dans la zone d'Oued Righ,

permettant d'irriguer les grandes palmeraies de cette zone (Côte, 2006). Quant à la région Souf, l'accès à l'eau souterraine se fait surtout à travers des puits individuels captant la nappe phréatique (*ibid*).

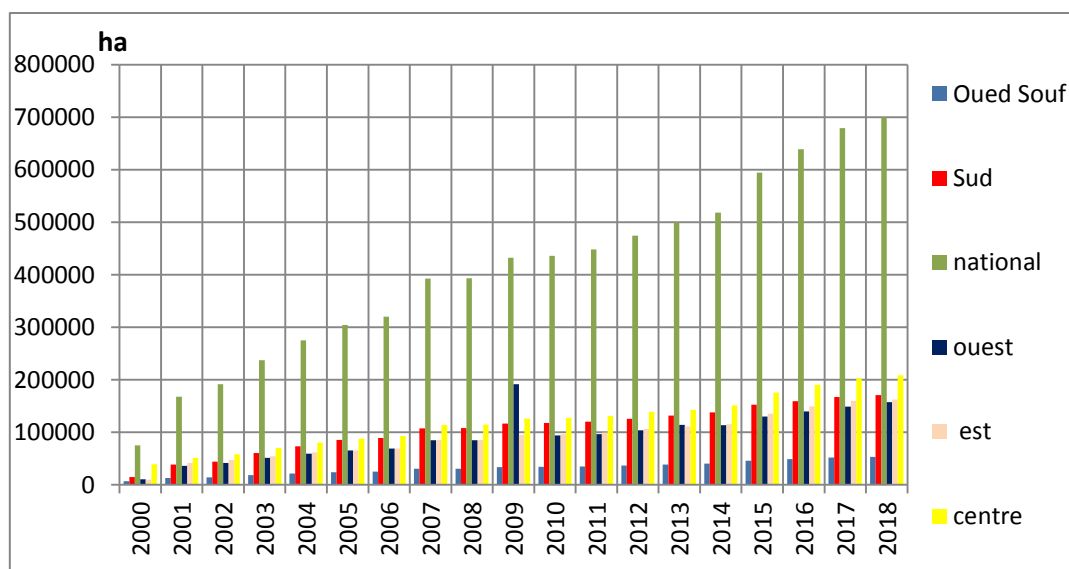
En termes d'équipement en systèmes d'irrigation, la superficie totale équipée dans la wilaya d'El Oued est passée de 7 050 ha en 2000 à plus 53 000 ha en 2018 selon les chiffres officiels. Ce qui représente un taux d'évolution de plus 2 500 ha/an. Lors des discours officiels on lie cette évolution de superficie équipée au programme étatique qui constitue, selon les services étatiques locaux, une réussite importante. Selon eux tout le mérite revient aux efforts étatiques déployés, dans le cadre du Programme National de l'Economie d'Eau (PNEE). Personnellement, en tant qu'ancien membre de ce programme et chef de file de l'équipe de l'INSID durant presque deux campagnes, et en portant un regard critique et objectif envers PNEE, je trouve que ce constat reste, malgré les moyens mobilisés, en décalage avec la réalité de terrain. Ceci en raison parfois de non prise en considération et la non valorisation des créativité locales. Le PNEE encourage la conversion du gravitaire en système économe en eau ainsi que les nouvelles extensions via la subvention, l'appui technique et la vulgarisation. Cet effort étatique, sans doute, y est pour beaucoup dans ce développement d'irrigation surtout en matière de subvention et d'appui technique. Ce dernier est assuré, dans le cadre du PNEE, par l'INSID dont des journées d'étude et de démonstration sont programmés annuellement dans différentes wilayas en coordination avec les administrations locales DSA, subdivision et chambre d'agriculture. Aussi des regroupements régionaux (est, ouest centre sud) entre administrations locales (DSA et subdivision) avec le MADRP et techniciens de l'INSID sont organisés trimestriellement afin de discuter les bilans. Le bilan du PNEE montre un taux d'accroissement, à l'échelle nationale, de 35 000 ha/an atteignant ainsi en 2018 autour de 700 140 ha équipés. L'évolution de la superficie équipée en système d'irrigation, depuis l'an 2000, dans les wilayas du sud ne cesse d'accroître aussi, marquant un taux de 8672,5 ha /an i.e. elles sont en deuxième position juste après celle du centre (figure 27), ce qui montre l'importance de la dynamique agraire, particulièrement l'équipement d'irrigation, dans la région Sud depuis l'an 2000.



Source : MADR, 2018.

Figure 26: Evolution annuelle des superficies irriguées par différents systèmes dans le Souf.

En revanche, dans une région comme le Souf, ayant connu un boom agricole depuis 2000, c'est l'initiative locale qui est le principal catalyseur de ce renouveau de l'agriculture irriguée. La figure 26 montre l'évolution des superficies irriguées par les différentes techniques. Dans l'ensemble de la wilaya d'El Oued le gravitaire a toujours été prédominant du fait qu'il est assez présent dans les palmeraies d'Oued Righ et Souf. Le goutte goutte on l'observe aussi dans les deux régions utilisé dans l'irrigation du palmier, en particulier dans le Ghout renouvelé en verger de surface, plus que pour le maraichage. Par contre dans la zone du Souf, c'est plutôt le pivot artisanal qui prédomine, surtout ces dernières années où il dépasse même le gravitaire (figure 26). Cela s'explique par le fait que près de 6200 Ghouts ont été considérablement affecté par le problème de la remontée de la nappe dont beaucoup ont été remblayés et remplacés par des pivots de pomme de terre, comme nous allons analyser en chapitre 3.



Source : MADR, 2018

Figure 27: Evolution des superficies équipées en systèmes d'irrigation économe en eau à l'échelle régionale et nationale.

Aujourd'hui les services locaux recensent près de 30 000 pivots artisanaux installés et estiment qu'en réalité il y en a plus de 35 000. Le pivot artisanal n'est donc pas précisément recensé ni inclus dans le programme de subvention, malgré son splendide succès, comme il sera développé dans les prochains chapitres. Il convient de signaler qu'il ressort des données statistiques collectées, que les superficies du pivot artisanal, dans le Souf, ont représenté en 2018 près de 53 % de l'ensemble des superficies équipées en systèmes d'aspersion dans l'ensemble des wilayas du Sud. Cela justifie notre point de vue que l'effort étatique en PNEE et en général pour promouvoir l'agriculture saharienne doit accorder plus d'importance aux innovations endogènes.

**[Chapitre 3 : Le développement
d'un bassin maraîcher irrigué par pivot
artisanal : dépendance au marché et
stratégies d'adaptation]**

III. CHAPITRE III : LE DEVELOPPEMENT D'UN BASSIN MARAICHER IRRIGUE PAR PIVOT ARTISANAL DANS LE SOUF : DEPENDANCE AU MARCHE' ET STRATEGIES D'ADAPTATION

III.1 Introduction

Dans une optique d'analyser les changements agraires qui ont accompagné la diffusion du pivot et son extension territoriale dans le Souf, nous allons étudier dans le présent chapitre le remodelage agraire depuis les années 1990. Il s'agit en particulier de saisir l'implication des jeunes dans une agriculture entrepreneuriale centrée autour de la production de la pomme de terre, et celle des acteurs qui lui sont liés. Pour ce faire nous avons mené des enquêtes durant les deux années 2016 et 2017. D'abord une « enquête exploitant » auprès de 35 agriculteurs utilisateurs du pivot artisanal ; ces utilisateurs sont jeunes (26 d'entre eux ont moins 40 ans) ayant différentes trajectoires socioprofessionnelles. 26 d'entre eux ont commencé leur engagement dans l'agriculture dans les exploitations familiales et / ou en tant qu'ouvriers dans d'autres exploitations agricoles. Alors que les 9 autres agriculteurs ont commencé leur carrière dans le commerce (des fruits et légumes, des articles vestimentaires, tissus et cosmétiques), dans l'artisanat (soudeur, mécanicien, couturier, maçonnerie, plâtrier) ou encore dans les systèmes d'élevage (le pâturage en tant que fils de nomades).

L'enquête a porté sur quatre principaux volets : i) le profil de l'agriculteur, notamment s'il est issu ou pas d'une exploitation familiale, ii) la trajectoire de l'agriculteur, iii) le financement de l'exploitation agricole, et iv) l'accès aux ressources productives ainsi que le fonctionnement de l'exploitation : usage du pivot artisanal et systèmes de culture adoptés. L'intérêt de cette enquête réalisée en deux phases, au début de chacune des deux campagnes 2016/2017 et 2017/2018, c'est qu'elle a coïncidé avec deux situations de marché très différentes. Une première situation de post-crise, suite à la chute des prix de la pomme de terre sur le marché durant la campagne de 2015/2016. Par conséquent, des stratégies adaptives ont été observées dans les exploitations agricoles enquêtées pour diminuer les risques encourus. En revanche, les prix des produits maraîchers sur le marché sont remontés durant la campagne de 2016/2017 et nous avons repris l'enquête avec les mêmes agriculteurs en septembre 2017 pour voir les éventuels changements, notamment le maintien des stratégies adaptives et la situation de reprise. Ces deux moments ainsi que les lieux de l'enquête ont été choisis suivant les spécificités de la région d'étude et de la nouvelle dynamique. Les agriculteurs produisent au moment de l'arrière-saison (septembre-janvier), bien plus que durant la saison (mars à juin), et ce pour arriver sur le marché sans concurrence avec les

producteurs du nord du pays. Quant aux lieux, nous avons choisi deux communes à Souf : (i) Guemar ; territoire d'innovation, où les premiers pivots furent fabriqués et où les premiers essais de pomme de terre ont été réalisés ; elle comprend les plus anciens producteurs de pomme de terre sous pivot, et (ii) Hassi Khalifa ; territoire d'extension qui comprend les plus grandes superficies de pomme de terre sous pivot et qui se classe première commune productrice de pomme de terre dans la Wilaya.

Durant les mois de février à avril 2017, nous avons mené une deuxième « enquête filière » auprès des acteurs de la filière : 8 grainetiers vendeurs d'intrants (grossistes et détaillants), 5 ingénieurs salariés des firmes d'agrofourmiture, et 3 cadres des services de l'agriculture. Certains parmi eux nous ont orientés vers des anciens, âgés de plus de 65 ans, et connaisseurs de l'agriculture entrepreneuriale d'El Oued depuis sa genèse et en mesure de la situer dans le temps long de l'agriculture soufi. Nos enquêtes nous ont conduits par conséquent vers d'autres personnes ressources. Nous avons interviewé un ancien Talab (imam de mosquée), un chikh de la zaouïa Kadiryia, anciens fellahs, un ex-Kateb (écrivain public non officiel), le directeur de la coopérative agricole (CASAP), un ex-cadre de la DSA (anciennement attaché administrativement à la wilaya de Biskra).

Nous allons aborder dans une première section le développement d'un bassin maraîcher dans le Souf à travers l'initiative locale dans un contexte d'une agriculture ancestrale en crise. Nous précisons aussi le rôle étatique pour promouvoir le développement agricole saharien et les difficultés de dialogue. Ensuite nous allons analyser les trajectoires des agriculteurs interviewés ainsi que leur implication dans l'agriculture entrepreneuriale. Nous allons illustrer, à travers les 35 exploitations, les formes d'hybridation adoptées, qui sont en partie en continuité et en partie en rupture avec l'agriculture traditionnelle du Souf. Dans une troisième section, nous montrerons le rôle des acteurs de la filière intervenant dans la chaîne d'approvisionnement en intrants. Enfin, les stratégies d'adaptation aux défis du marché seront identifiées par type d'agriculteur, ce qui nous permettra de faire une analyse comparative entre les deux situations (post-crise et reprise) et caractériser l'apprentissage des jeunes agriculteurs, forts de cette expérience. Nous terminerons par une conclusion pour tirer les principaux renseignements de ce chapitre.

III.2 Une agriculture insérée dans l'économie nationale animée par l'innovation endogène

III.2.1 Une agriculture diversifiée ancestrale

Autrefois le Souf était réputé à la fois pour ses systèmes de cultures diversifiés mais aussi pour l'élevage, le nomadisme et l'artisanat (tableau 9). La principale culture traditionnelle, le palmier dattier, se fait sans irrigation. Les palmiers sont plantés dans des creux ou entonnoirs (les *ghouts*) ce qui permet aux racines d'atteindre directement la nappe phréatique (Bataillon, 1960). Marc Côte (2006) dans son livre avait également raconté et décrit l'originalité et conditions édaphiques de la région¹. Ces cratères étaient creusés à main d'hommes² (El l'ingéniosité du système hydraulique traditionnel des *ghout* ainsi que son équilibre avec les *Ramel*) jusqu'à atteindre la profondeur adéquate pour planter le palmier 1.5 à 2 m au-dessus du toit de la nappe. La technique de fumure est aussi originale ; elle s'adaptait à celle de la plantation. Elle se fait par le creusement d'un tranché de 1 m de profondeur, sur une distance de 1.5 m à compter du tronc pour éviter de toucher des racines. Ensuite le fumier sera mélangé avec du nouveau sable propre et posé le long du tranché et l'ensemble sera comblé. Pour ne pas trop perturber le milieu physique du palmier (notamment la rhizosphère) l'amendement en tranché se faisait une fois tous les 10 ans, d'où l'utilisation d'un mélange du fumier de chèvre et chameau en raison de sa lente décomposition. Selon Daviault (1947) les doses apportées étaient de 120 kg/palmier. Cependant les anciens agriculteurs interviewés disent que c'était aux environs de 60 à 80 kg/palmier. La fécondation et la récolte se faisaient aussi manuellement par des spécialistes (El *Dékaria*).

Selon les anciens agriculteurs interviewés (âgés de plus de 70 ans) le système et ces techniques locales remontent à plus de 5 générations au 18^{ème} siècle et les palmiers étaient constitués de plus de 60 variétés. Un des principaux changements au cours du 20^{ème} siècle concernait justement le choix des variétés. Selon Daviault (1947) en 1930 le Souf comptait déjà plus de 350 000 palmiers et la production atteignait les 50 kg/palmier (70 et 80 kg/palmier selon nos enquêtes). Les variétés à consommation locale notamment Ghars était les plus dominantes alors que les palmiers de Deglet Nour ne représentaient que 8 % de l'ensemble. L'accroissement de la variété destinée à l'exportation 'Deglet Nour' devient remarquable ensuite dès 1953 où la proportion atteignait environ 30% (Bataillon, 1960). Cela

¹ Les oasis de l'erg occidental d'Ajdir se présentent selon la même configuration.

² Les sacs de sable étaient portés parfois sur dos d'âne.

était imposé par les politiques coloniales qui visaient l'augmentation des exportations vers l'Europe, selon les cadres de l'agriculture et nos anciens agriculteurs interviewés.

A côté du *Ghout*, souvent un petit carré était aménagé, de quelques ares, destiné aux cultures associées notamment le maraichage principalement pour l'autoconsommation. *“A El Oued, très souvent, dans un coin de la palmeraie, un petit jardin est installé autour d'un puits. Il est limité par des haies de Djérids où on cultivait des carottes, des navets, des oignons, des courges (appelés Cabouilla), des piments et des tomates”* (Daviault, 1947). Pour les anciens Soufis l'appellation la plus commune est *“El Houd”*, et englobe les diverses composantes de cet ancien modèle d'exploitation : le Ghout non irrigué (*Bâli*), ainsi que les deux recoins, en surface, qui lui sont associées. L'un est consacré au jardin des cultures potagères irriguées par un puits traditionnel (*El Khotara*) qui alimente manuellement les séguia (voir Côte, 2006). Tandis que le second contient une petite bergerie pour les ovins : *“El Houd et les têtes de camelins représentaient le patrimoine construit, reproduit, étendu, préservé et hérité à travers les générations. Ce patrimoine représentait tout pour nos pères ; les limites des propriétés d'une famille, la fierté, la source de gain de vie et revenu, l'investissement durable, l'héritage pour leurs descendants et le moyen de communication avec les nomades qui leur assuraient le pâturage. Tandis que le maraichage ne représentait que des cultures vivrières, annexes et complémentaires qui servaient dans la majorité des exploitations qu'à l'autoconsommation”* (Selon témoignage d'un Imam à Ghamra, 76 ans).

Certains Soufi cultivaient également, dans les petits jardins associés au Ghouts, des cultures fourragères servant comme aliments de bétail. A ce propos l'élevage figurait parmi les activités qui permettaient une diversité de revenus. En 1942, le cheptel d'El Oued comprenait 50 000 caprins, 45 000 ovins et 10 000 camelins (Daviault, 1947). Les cultures fourragères permettaient l'engraissement des agneaux dans la bergerie d'El Houd. Quant au reste du troupeau (brebis, caprins et camelins), il était confié aux nomades, notamment les *“Rebaia”*, pour le pâturage sur des parcours. Le nomadisme a joué également un important rôle pour la durabilité de l'élevage à El Oued et jusqu'à ce jour. Le Souf est un pays de refuge où les nomades ont afflué et se sont progressivement attachés, grâce aux facilités d'une agriculture sans irrigation (Bataillon, 1963). Celle-ci a favorisé leur sédentarisation progressive, les plus anciens arrivés sont, bien sûr, les plus sédentarisés.

Tableau 9: Bilan de l'économie du Souf comparaison entre deux années 1953 et 1959.

Produits	Désignation	Rentrées million de francs	
		1953	1959
Dattes Ghars	Autoconsommation	750	600
Viande		100	240
Total		850	840
Dattes Ghars	Exportation	35	6
Tabac		59	140
Dattes deglet-nour		200	600
Artisanat		25	4
Total		319	750
Céréales	Importation	325	591
Carburant		0	30
Viande		0	104
Huile, thé, tissus, sucre		80	320
Total		319	750
Déficit théorique		86	295

Source : Bataillon, 1960



Figure 28: El Houd un ancien modèle d'exploitation agricole (Ghout bâti non irrigué, petite écurie et puits traditionnel).

Au total, on comptait dans le Souf dans les années 1950 sur 100 000 habitants environ 17 000 semi-nomades, dont 14 000 sont des Rebaia (*ibid*). Ces derniers possédaient et cultivaient des palmiers dans la région du Souf et ils nomadisaient plus de la moitié de l'année, avec leurs

troupeaux, dans le nord, l'est et le sud-est de l'Erg oriental. Dans l'ensemble les Rebaia sont des pasteurs et ne passaient que deux mois dans les palmeraies, au moment de la récolte (*ibid*).

Daviault en 1947 avait décrit l'importance de l'activité artisanale dans le Souf notamment dans la ville de Guemar. Notre entretien effectué avec El Hadj Tidjani montre son importance après l'indépendance, ainsi que la volonté étatique, durant le régime socialiste, à promouvoir ce capital social à travers la SAP mais aussi grâce aux compétences de certains français *pied noir* ayant décidé de rester en Algérie après l'indépendance. Dans la SAP, il y avait une section artisanale et de tourisme, destiné aux femmes et hommes, notamment dans le domaine de textile. D'abord il y avait des sœurs de l'église qui sont restées à El Oued jusqu'au début des années 1970, qui ont formé dans la SAP des dizaines de jeunes filles dans la production d'articles vestimentaires. Ces jeunes filles ont formé à leur tour d'autres filles par la suite. Les hommes étaient plutôt spécialisés dans la fabrication des tapis et la décoration des maisons, mosquées et administrations en plâtres. Aussi après l'indépendance, certains juifs sont restés à Guemar et ont recruté des jeunes dans le domaine de fabrication des bijoux en argent et or et pots en cuivre. Il y avait d'autres jeunes formés également dans la couture, particulièrement dans la fabrication des vestes en cuir.

A cette époque, la SAP arrivait même à exporter ces produits vers l'Europe par le biais de l'entreprise DESTRICH et à faire de l'agrotourisme : *'En tout cas la ville de Guemar était une ville d'artisans. Les touristes venaient également souvent de l'Europe en tout cas au moins une fois par an pour assister à l'événement de la fête de la ville des coupoles qu'on organisait pour leur présenter tout ce capital artistique et surtout agricole dont on disposait (fécondation palmier et récolte des dattes). Ils venaient pour admirer les dunes, les constructions en coupoles et leurs décorations, pour observer les ghoutes et El Khotara, pour déguster les variétés des dattes produites, pour acheter les tapis. Ils étaient intéressés par nos traditions et des choses qu'on fait vu que certains de ces touristes étaient des français, qui sont né et ont vécu ici. Quant à nous, on les accueillait avec un énorme plaisir pour leur montrer avec fierté de quoi est capable de faire une Algérie indépendante'* (Ex technicien dans la SAP, actuellement directeur de la CASAP de Ghamra, 71 ans).

III.2.2 Une rupture dans les systèmes agraires

Le paysage agraire a changé dans le Souf et c'est rare qu'on trouve aujourd'hui l'ancien modèle des exploitations d'*El Houd*. Néanmoins, nous avons observé quelques-unes dans la commune d'El Bayada (voir figure 28). Le recours au pompage dans les nappes profondes pour satisfaire les besoins en eau potable de la région, en absence d'un exutoire et réseau du drainage, a induit une recharge de la nappe phréatique, ce qui a conduit, depuis les années 1980, à la mort des palmiers par asphyxie et la disparition progressif de plus de 50 % des *ghouts* (Côte, 2006).

En réalité, la chronique du phénomène de remontée de la nappe phréatique dans la région remonte à l'ère coloniale, plus précisément aux années 1950. Un premier forage fut réalisé à Houba, donnant un débit permettant la plantation de 25 000 palmiers, par la CAPER (Caisse d'Accession à la Propriété et à l'Exploitation Rurale). La population Soufi s'y opposait catégoriquement et Bataillon en 1960 avait déjà signalé les risques : *''Une tentative de modernisation radicale des cultures apparaît avec les réalisations de la CAPER. L'eau abondante rejoint la nappe phréatique. Le niveau de celle-ci, qui s'était abaissé à 4 m depuis les plantations en « Ghout » dans la région a remonté à 80 cm du sol et même affleure par endroit. Si l'on veut éviter la destruction des plantations traditionnelles il faut obtenir un rabattement par drainage jusqu'à 1,80 m ; ce sont les Deglet-Nour qui souffrent le plus du niveau trop élevé de l'eau.''* Ensuite, l'État algérien indépendant vient accentuer le problème de remontée par le pompage d'eau dans la nappe profonde qui aboutissait dans la nappe phréatique. Entre 1980 et 1987 des forages à haut débit sont réalisés accélérant l'ennoiement des Ghouts ; une centaine de forages dans le Complexe Terminal et trois forages dans Continental Intercalaire. Par conséquence, la nappe avait ennoyé la palmeraie sur 25 km dans le couloir Kouinine - Robbah en 1993. Selon Côte (2006), en 2004 près d'un tiers des palmiers étaient affectés dans l'ensemble des communes du Souf. Enfin, l'impact a été lourd de conséquences et les derniers chiffres officiels DSA (2015) montrent que plus de 6200 Ghouts ont été considérablement affecté par le problème de la remontée de la nappe, induisant ainsi la mort de 337 635 palmiers par asphyxie, parmi les 13 364 Ghouts qui existaient avant et contenant 633 615 palmiers. D'ailleurs dans la commune de Guemar on dénombrait le plus grand nombre de ghouts (1145 ghouts et juste après Hassi Khalifa qui compte 2097 ghouts) et c'est là où la remontée de la nappe a induit le plus de désastres : 985 Ghouts sont en état très dégradé contenant 69 633 palmiers morts, ce qui représente une perte évaluée à plus de 86 % du patrimoine phoenicicole de Guemar.

III.2.3 L'intervention de l'Etat pour promouvoir le développement agricole saharien

A l'ère socialiste du nouvel Etat indépendant et durant les trois premières décennies, l'Etat assurait à lui seul l'agrofourmiture en particulier à travers deux sociétés : l'Office National des Approvisionnements et des Services Agricoles (ONAPSA) et la Société Algérienne de Prévoyance (SAP). Héritée de l'époque coloniale, cette dernière était répartie sur le territoire national, et fut le seul organisme qui assurait aux agriculteurs locaux l'approvisionnement en équipement, matériels et intrants agricoles.



Figure 29: Ghout affecté par la remontée de la nappe phréatique et laissé à l'abandon.

La SAP d'El Oued se trouvait dans la ville de Ghamra, et elle a joué un rôle important pour promouvoir le développement agricole dans cette région. D'abord durant les années 1960 et 1970, elle créait et supervisait, en collaboration avec l'armée, des postes avancés servant comme points d'alimentation des nomades en ravitaillement et en aliment de bétail. Ceci était dans l'objectif de contrôler le nomadisme et de le fixer dans les zones de parcours frontalières avec la Libye et la Tunisie. *'Il y avait 5 postes en tout, dans les communes de Mihawensa, Bengacha, Douar Elma, Talab Elarbi et El Dabdab. Les repères de ces postes étaient des puits avec abreuvoir que l'Etat a réalisé. On leur alimentait presque gratuitement en ravitaillement et aliment de bétail, pourvue qu'ils restent dans ces zones. La mobilité des nomades entre ces postes créés a servi comme lieu de renseignement sur l'état des sites limitrophes sensibles et des lieux pour donner l'alerte en cas où ! il n'y avait pas de portable à l'époque''* (Ex-technicien dans la SAP, actuellement directeur de la CASAP de Ghamra, 71 ans).

Durant les années 1980, en relation avec les politiques étatiques de modernisation et développement de l'agriculture saharienne, la SAP d'El Oued avait participé à l'introduction

et la fourniture des vaches laitières (race pie noire et rouge, avec carnet de vaccin et fiche technique), en provenance d'Allemagne, des batteries des poules pondeuses ainsi que la promotion de la culture d'arachide en provenance de l'Amérique et de l'Espagne. Elle les vendait avec des prix subventionnés, respectivement 8600 DA/vache, 60 000 DA/batterie et 18 DA/kg de semence d'arachide. Des vétérinaires ont assisté à ces opérations pour vulgariser les techniques d'élevage. Quant au premier essai de la culture d'arachides, il a été réalisé avec l'assistance de quelques techniciens de la DSA chez un agriculteur de Guemar, Guetayème Hsaine, ayant 10 ha. Durant cette période cette société avait également la charge d'acheter en gros la production de tabac auprès des agriculteurs producteurs, à Ghamra en particulier, puis de sa vente en gros également à la SNTEA de Biskra et Laghouat.

La crise hydraulique des ghouts en Souf a coïncidé avec le lancement du programme étatique d'Accession à la Propriété Foncière (APFA) dès 1983, maintenu jusqu'à ce jour pour les régions du sud. Les services de l'agriculture à Oued Souf ont visé à travers ce programme de relancer la phoeniciculture, en lien avec le principe socialiste d'un état nouvellement indépendant : *la terre appartient à celui qui la travaille et l'eau à celui qui la fait jaillir*. L'Etat permettait aux jeunes, qui ont adhéré à la chambre d'agriculture et possédant des cartes fellah, d'exploiter et ensuite de s'approprier de 5 jusqu'à 10 ha avec un délai de cinq ans pour achever le travail et la mise en culture irriguée de ces terres. La sélection des bénéficiaires se faisait selon des critères précis, liés à la fois au bénéficiaire (âge, ancienneté de la carte fellah, diplômé ou pas, chômeur ou travailleur, propriétaire ou pas d'une terre, fils de Moujahaid ou pas) et au site choisi (proximité, situé ou pas par rapport aux terrains programmés pour des travaux d'aménagement, périmètres ou d'autres fins).

L'APFA accorde un droit de propriété privée sur les terres du domaine privé de l'Etat mises en valeur, ici au sens de mise en culture irriguée (Daoudi et al., 2015). *“La mise en valeur doit intervenir dans un délai de cinq années après l'attribution de l'arrêté de cession. Elle peut se faire dans le cadre de périmètres aménagés par l'État, ou à titre individuel, hors périmètre. Dans ce dernier cas, l'effort de mise en valeur est entièrement supporté par les agriculteurs engagés dans le processus de l'APFA”* (ibid). Sur les périmètres collectifs, l'aménagement et l'équipement (ouverture de pistes, électrification, etc.) sont assurés par l'Etat et la mise en culture est à la charge des bénéficiaires des périmètres (ibid). A Oued Souf, respectivement 110 000 ha et 33 000 ha ont été distribués à 20 000 et 4500 bénéficiaires, dans le cadre des deux programmes de mise en valeur, c'est à dire l'APFA et la concession agricole lancé en 2006 (DSA, 2017). L'Etat a aussi mis en place des équipements

pour les nouveaux territoires ; 354 km de lignes électriques et 1003 km de pistes agricoles ont été réalisés jusqu'au 2016. Les fonds mobilisés s'inscrivent dans le cadre de trois programmes : le Fonds Spécial du Développement des Régions du Sud (FSDRS), la Caisse du Grand Sud (CGS) et le Fonds National de Développement de l'Investissement Agricole (FNDIA).

Les deux programmes de mise en valeur devaient en premier lieu encourager et aboutir à la reconstitution progressive du patrimoine phoenicicole du Souf : au minimum 30% de la superficie attribuée au bénéficiaire devait être plantée en cultures pérennes en particulier des jeunes plantations de palmiers. Un arrêté de cession a été attribué à chacun des bénéficiaires, en lui accordant un délai de cinq ans pour l'aménagement et la mise en culture de la terre, avant délivrance d'un acte de propriété. Cependant, les conditions ont été rompues par les bénéficiaires et des milliers de pivots artisanaux ont été implantés à la place des palmiers. Aussi, dans la wilaya d'Oued Souf, la vente informelle de ces terres à des non bénéficiaires a conduit au non régularisation de plus de 50 % de ces terres attribuées dans le cadre d'APFA, ayant dépassé le délai accordé de cinq ans pour la mise en culture. Ainsi, dans cette wilaya, sur les 66 000 ha seulement 32 000 ha ont été régularisés. En plus de l'accès des non bénéficiaires aux terres de l'APFA, les jeunes développaient une stratégie catégorique et informelle dans le but d'accéder à plus de terres de ce qu'il leur avait été autorisé comme concession (dans le cadre APFA hors périmètre). L'Etat ouvre droit à l'exploitation jusqu'au 10 ha au maximum, sauf que les jeunes de cette catégorie ont trouvé l'astuce pour accéder à plus de 10 ha. Ils font appel à leurs connaissances personnelles (cousins, amis d'enfance ou voisins) pour choisir et délimiter plus de 20 ha sur un seul site, ensuite chacun d'eux déposera son propre dossier pour demander une superficie dans la gamme autorisée (pour éviter le refus du dossier). Après, dès que les services de l'administration leur délivrent l'arrêté de cession, il ne restera qu'un seul exploitant alors que les autres bénéficiaires, à qui la personne a fait appel initialement, désisteront informellement à son profit contre une récompense financière. Dans notre échantillon, nous avons 4 jeunes qui ont procédé de cette manière. Dans deux cas, ces accords informels, i.e. sans contrat écrit, ont fini par un conflit, vu que les sous-traitants non conventionnels, à qui ils ont fait appel, ont changé d'avis. Ils ont révoqué l'entente initiale et rompu leur promesse, et actuellement ils exploitent réellement la part qui leur a été attribuée par l'Etat. Des cas similaires ont été observés sur d'autres territoires comme à Gaâfour où Amichi et al. (2016) ont démontré que quelques années après l'attribution des terres, on enregistre des écarts aux règles édictées et l'existence d'un marché informel de FVI qui régule

les disponibilités foncières entre bénéficiaires, d'une part, et entre bénéficiaires et autres types agriculteurs (non bénéficiaires).

En plus des programmes de mise en valeur, l'Etat visait aussi le développement des cultures maraichères, comme cultures complémentaires associées aux palmiers, en lien avec l'agriculture ancestrale. Dès le début des années 1990, un comité de vulgarisation a été installé comprenant le Service d'Organisation de la Profession et d'Appui Technique (SOPAT-DSA) et des instituts techniques (ITCMI, INRA, INPV) ayant pour mission la diffusion des nouvelles techniques du maraichage, notamment les variétés plus adaptées, la conduite de la culture, l'irrigation par aspersion, la fertilisation, la culture sous serre, etc. Des essais au champ et des journées techniques ont été menées en partenariat avec quelques agriculteurs. Ces derniers ont été sélectionnés par le comité sur la base des informations fournies par la chambre d'agriculture. Les principaux critères de sélection sont liés aux moyens et aptitude des agriculteurs notamment l'acceptation de mener des essais sur leurs champs ainsi que de contribuer dans le regroupement d'autres agriculteurs pour démonstration. À titre d'exemple, les premiers essais de la culture de pomme de terre ont été effectués dans deux exploitations dans la commune de Taghzout (Daïra de Guemar) (chez les deux frères Bahaa) et dans la commune de Hassani Abdelkrim (chez M. Mnagar). Des essais des variétés Condor, Cardinal, Diamant, Désirée ont été menés sur des sites d'expérimentation d'un quart d'hectare dans chacune des deux exploitations et irrigués en aspersion classique. La semence et le kit d'aspersion ont été offerts gratuitement. Le service de la protection des végétaux de la DSA et l'INPV avaient la charge d'assurer le suivi technique : *'Au début, la pomme de terre n'était pas le principal objectif. La vocation d'El Oued c'est le palmier et nous visions le développement du maraichage, comme cultures annexes au palmier'* (Ex chef de bureau-service protection de végétaux (DSA), grainetier depuis 2005). En même temps, d'autres essais de variété de tomate et poivrons sous serres ont été menés chez d'autres agriculteurs.

III.2.4 Les difficultés dans le dialogue état-agriculteurs

On trouve dans la littérature beaucoup d'auteurs ayant mis en avant la difficulté dans ce dialogue dans la région nord-africaine. Le système pivot-pomme de terre à El Oued en est un parfait exemple. D'abord, le marché informel des terres attribuées et le faire valoir indirect qui s'est mis en place dans le cadre de la mise en valeur limitent l'accès des agriculteurs aux crédits et subventions dans le cadre de PNDA. Pour accéder aux crédits et subventions destinés à l'installation des équipements (irrigation, mécanisation,..) et la réalisation des

infrastructures (par exemple, des chambres froides) l'Etat exige un acte de propriété de la terre. Les agriculteurs non encore régularisés (sans acte de propriété) ne pouvaient accéder dans ce cas qu'à la subvention de 20 % sur les engrais. Les services de l'agriculture d'El Oued dans l'objectif d'éviter de briser cette nouvelle dynamique ont essayé de s'adapter et d'ajuster ces pratiques informelles autour du faire valoir indirect dans un cadre formel, sous réserve que la terre attribuée soit réellement utilisée à des fins agricoles. D'ailleurs dans les 50% des terres APFA régularisées, rarement la superficie en palmier exigée (30%) a été respectée. A ce propos, l'Etat a agi avec une certaine souplesse, en acceptant des jeunes plantations de palmiers (même récemment plantées) du moment qu'il trouve le bénéficiaire concerné doté d'un arrêté de cession. Pour les autres 50 %, non encore régularisés, les services de l'agriculture sont en phase d'étudier un arrangement et prévoient de proposer à l'agriculteur, ayant acheté la terre de façon informelle et donc formellement non bénéficiaire, de trouver un compromis avec le bénéficiaire (doté de l'arrêté de cession) en procédant à un désistement officiel notarié, pour qu'il puisse être régularisé. Ainsi, à travers cette formulation foncière et ce système d'accès au crédit, l'Etat essaye de mettre en place une relation étroite avec les agriculteurs et vise un accompagnement agricole contrôlé pour une utilisation durable des ressources productives, mais aussi pour superviser les nouvelles extensions dans cette région stratégique frontalière. Les agriculteurs pour leur part ne trouvent pas la régulation foncière une priorité et ne sont pas intéressés pour l'accès à ce type de crédits. La raison avancée est liée aux formes de crédit avec intérêt que propose le programme PNDA. Celles-ci ne sont pas adaptées aux normes socioculturelles de cette région, car il s'agit d'une société très conservatrice qui considère le crédit avec intérêt est considéré comme un péché (haram) du point de vu religieux. La totalité des agriculteurs interviewés ne vise jamais accéder à ces crédits mais optent plutôt pour les crédits informels auprès des fabricants des pivots et vendeurs d'intrants. Ces agriculteurs attendent que l'Etat leur aménage plus de territoires : *''chers confrères Soufis, vous attendez que l'Etat vous réalise les pistes et les lignes électriques et qu'il vous laisse produire. Chers confrères Soufis, un producteur doit collaborer avec l'Etat et contribuer activement dans le développement agricole. Chers confrères Soufis, l'Etat réalise mais il doit aussi garder un œil attentif sur ce qui se passe car les ressources appartiennent aussi à vos enfants (qui sont aussi les nôtres) qui vous jugeront demain pour vos actes (dont nous partageons avec vous l'entière responsabilité)''* (Ex-ministre du MADR et originaire de la zone de Boussaâda).

Aussi et comme avancé précédemment la SAP d'El Oued avait introduit les vaches laitières et la culture d'arachide, en lien avec la politique de modernisation de l'agriculture saharienne durant les années 1980. Mais au final, il n'y a que la culture de l'arachide qui a pu perdurer à El Oued et ce jusqu'à ce jour. Selon nos enquêtes auprès des producteurs d'arachides (parmi les 35 interviewés), cela est en raison de son adaptation aux conditions de la région (sol, climat), du fait qui peut être irrigué par pivot artisanal, ses bons rendements mais aussi et surtout pour son cycle court (4 à 6 mois de janvier-mars jusqu'au mai-juin). Cela permet une rotation avec la pomme de terre en arrière-saison (d'août-septembre jusqu'à décembre-janvier) (figure 30).

En ce qui concerne l'élevage bovin, la vache laitière n'était pas vraiment un projet réussi comme cela était le cas dans d'autres zones sahariennes (Guerara à Ghardaia par exemple), et ce compte tenu de l'orientation des agriculteurs Soufi vers le bovin à viande et ce jusqu'à ce jour. Comme nous allons voir dans les prochaines sections de ce chapitre, les Soufi s'orientent en ce moment de plus en plus vers l'élevage (vu les risques des marchés horticoles), mais en 2016 on compte dans le Souf seulement 960 vaches laitières parmi les 22 300 têtes de bovin *''Pour nos ancêtres l'élevage servait surtout pour l'autoconsommation. Nous avons hérité leur régime alimentaire, nous consommons le lait de chèvres et de chamelle plutôt que celui de vache et par conséquent l'élevage caprin et camelin sont plus développés dans le Souf. Quant au bovin laitier il lui faut des techniques spécifiques, nous nous contentons du bovin à viande''* (selon témoignage d'un agriculteur, fils de Fellah, 42 ans).

Première année												
Mois	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout
Parcelle 01	Pomme de terre arrière-saison				Jachère							
Parcelle 02	Oignons				Pomme de terre de saison							
Parcelle 03	Ail								Jachère			
Deuxième année												
Parcelle 01	Ail								Jachère			
Parcelle 02	Pomme de terre d'arrière-saison				Arachide							
Parcelle 03	Oignons				Pomme de terre de saison							
Troisième année												
Parcelle 01	Oignons				Pomme de terre de saison							
Parcelle 02	Ail								Jachère			
Parcelle 03	Pomme de terre d'arrière-saison				Arachide							

Source : Nos enquêtes campagne agricole 2014-2015

Figure 30: Exemple d'assolement rotation appliqué par un fellah à El Oued.

En outre, les agriculteurs n'arrivent pas à saisir la vraie attitude des services étatiques vis-à-vis du pivot artisanal. Pour les services de l'agriculture, l'intégration de cet équipement, utilisé sur des milliers d'hectares dans les programmes de subvention reste une perspective sombre. Le programme d'économie de l'eau encourage la conversion du gravitaire en systèmes économe en eau à travers l'appui technique, la subvention (PNDA) et la vulgarisation. Des canevas sont remplis annuellement dans chaque wilaya et transmis au MADR, pour suivre l'évolution du programme et l'atteinte des objectifs, notamment les deux millions d'hectares irrigués avancé par l'Ex-ministre de l'agriculture, M. Faroukhi. A El Oued, d'un côté, les superficies irriguées par le pivot artisanal sont recensées comme étant des superficies irriguées en aspersion. La technique de l'aspersion figure parmi les systèmes économes en eau dont l'état encourage l'installation via une subvention PNDA à 50%. D'un autre côté, le pivot artisanal n'est pas subventionné jusqu'à ce jour. Selon les cadres de la DSA, ceci est en raison de la non conformation de cet équipement avec la description et les critères du pivot subventionné, décrit dans le programme PNDA. Néanmoins lors des entretiens, les cadres de DSA ont montré leur volonté à s'engager dans la subvention des pivots artisanaux sous réserve qu'ils seront homologués par les institutions de l'Etat et quelques usines de fabrication des pivots, l'INSID et l'entreprise Anabib, par exemple.

III.2.5 Développement d'un bassin maraîcher à travers des initiatives locales

Les agriculteurs du Souf se sont orientés de plus en plus vers le maraichage dès la fin des années 1980 et le début des années 1990. Ils ont cultivé divers légumes et cultures industrielles, notamment des arachides, l'épinard, la carotte, l'ail et l'oignon,... Ces cultures vivrières étaient destinées d'abord à l'autoconsommation et orientées aussi vers le marché local, servant ainsi comme source de revenus pour satisfaire les besoins ménagers ainsi que pour récompenser les pertes des profits dû au déclin des ghouts. D'ailleurs dans notre échantillon, huit anciens agriculteurs pratiquaient le maraichage avant l'arrivée des pivots. Quatre de ces agriculteurs avaient des Ghouts en état très dégradé et devaient donc procéder à leur remblayage pour accroître les superficies de maraichage. Dans les zones menacées par la remontée de la nappe, les agriculteurs ont procédé à deux aménagements : le remblaiement du Ghout par une couche de sable neuf sur 1 ou 2 m d'épaisseur de façon à assainir le terrain, ainsi que le creusement d'un puits équipé d'une motopompe pour irriguer des cultures maraichères (Côte, 2006). Également et comme nous allons le voir dans la prochaine section, la majorité des fils de Fellahs interviewés était plus motivé pour le maraichage, en particulier la pomme de terre, que pour la reconstitution ou l'extension des vergers phoenicoles.

Pourtant, durant ces années, les programmes étatiques avaient pour ambition et priorité la reconstitution du patrimoine phoenicicole. Puis de développer d'autres cultures considérées annexes, la céréaliculture sous grand pivot et le maraichage par exemple. Cependant, les choses ne sont pas passées comme l'Etat l'a prévu, vu que l'ordre des priorités n'était pas le même pour les agriculteurs du Souf qui étaient plutôt à la recherche des cultures alternatives pour palier à la crise hydraulique des ghouts : *“Ce que le Soufi pratiquait traditionnellement sur quelques ares à partir de son puits à balancier, dans un coin du ghout, devient aujourd'hui la règle, et les planches, les séguias, les conduites, les tours d'eau deviennent son horizon quotidien”* (Côte, 2006).

La plus grande expansion des superficies de maraichage, en particulier la culture de pomme de terre, s'est produite au début des années 2000 avec l'arrivée des pivots artisanaux et des entrepreneurs agricoles. Les superficies de pomme de terre sont passés de moins de 1000ha en 1999 à 34 000 ha en 2016 représentant ainsi respectivement 12% et plus de 75 % de l'ensemble des superficies en maraichage durant ces mêmes années. Le maximum on l'a atteint en 2013 avec 35 000 ha, représentant 84% des superficies en maraichage (figure 31) : *“C'est l'adaptation du pivot à cette culture et l'orientation des agriculteurs qui a fait que le développement de cette culture devient une priorité pour nous. J'étais un membre du comité ayant réalisé les premiers essais de pomme de terre et j'ai même participé à sa vulgarisation à travers les journées techniques et de démonstration ainsi que les séances radiophoniques ; plus de 80 % des invitations pour les réunions qu'on envoyait portaient sur la filière de pomme de terre comme ordre du jour. Bref ma charge de travail s'est focalisé, depuis, sur la pomme de terre”* (Ex-chef de bureau-service protection de végétaux (DSA), grainetier depuis 2005). C'est à ce moment-là que l'animation de la dynamique maraîchère est reprise par les acteurs privés : *“Les agriculteurs et les fabricants des pivots sont allés plus vite que nous sur le terrain. L'initiative locale nous dépasse de loin dans cette région, sauf qu'à cet égard, nous en tant qu'Etat nous suivions le courant mais avec prudence car la politique agricole doit être bâti sur ce qui est durable”* (Directeur Central DFRV-MADRP, Direction de la Formation, Recherche et Vulgarisation). Ce système de production très bénéfique et rémunérateur a attiré les anciens agriculteurs, les *fellah*, qui l'ont adopté dans leurs exploitations, mais aussi des nouveaux investisseurs issus d'autres secteurs économiques pour intégrer l'agriculture, coloniser des nouveaux espaces et mettre en place des exploitations monoculturelle.

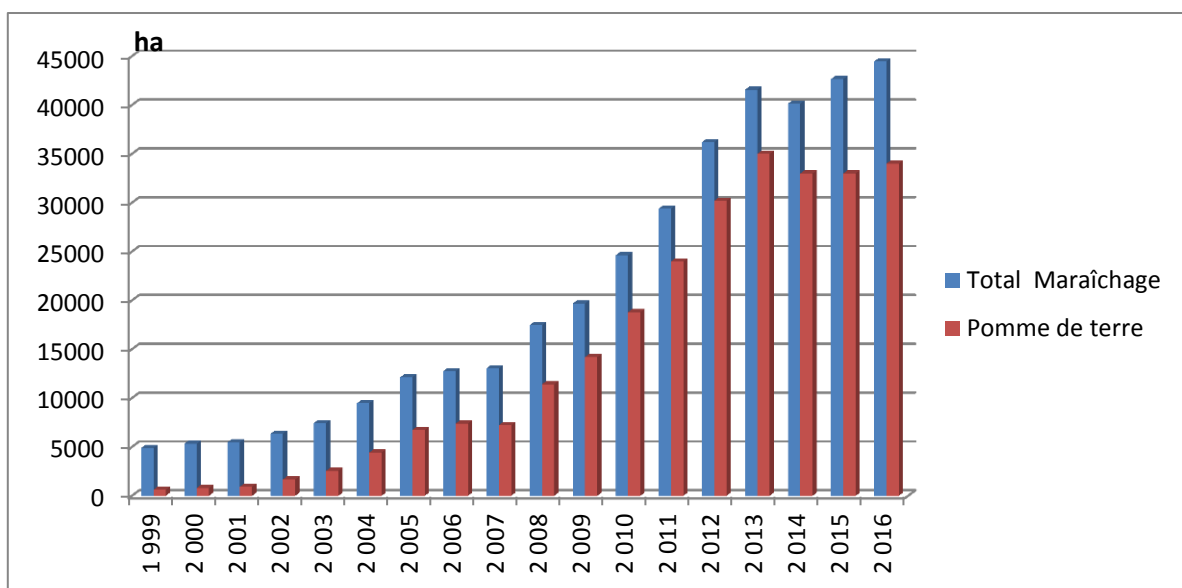


Figure 31: Evolution des superficies (en ha) du maraichage dans le Souf.

A titre d'exemple, une nouvelle terre non exploitée auparavant peut produire en moyenne 300 jusqu'à 400 quintaux de pommes de terre par pivot. Avec de tels rendements et un minimum de prix de vente sur le marché de 30 DA/kg, comme indiqué par l'ensemble des agriculteurs interviewés, le gain réalisé en une seule campagne (en arrière-saison et saison) permettra à l'agriculteur de récupérer largement son coût d'investissement durant la première campagne. Ce coût inclut le coût des travaux d'aménagement de la parcelle et d'installation du pivot et les frais de campagne (Tableau 10). Ensuite avec ce même prix de vente de 30 DA, dès la deuxième année l'agriculteur pourra atteindre en une seule saison un bénéfice nette d'environ 500 000 DA ce qui correspond à une masse salariale annuelle d'un cadre ingénieur fonctionnaire dans une entreprise étatique.

Tableau 10: Investissement moyen dans la production d'un ha de pommes de terre, irrigué par pivot artisanal, pour l'année 2016.

Frais des travaux d'aménagement et installation	Coût (DA)	Frais d'une saison de pomme de terre	Quantité moyenne	Coût (DA)
Nivellement	100 000	Travail du sol	/	15 000
Puits + équipements de pompage	350 000	Engrais organique (fumier + fiente de volaille)	80 t	120 000
Ados fixé par palmier sec "Djérid"	50 000	Épandage d'engrais	/	15 000
Armoire de commande	30 000	Semence	40 q	22 000
Pivot de 50 m	170 000			
Total	700 000	Engrais chimique (MAP+NPK 15/15)	5 q	55 000
		Traitement phytosanitaire	/	25 000
		Main d'œuvre pour récolte	Faire appel au chargé de chantier recruteur de 20 ouvriers journaliers/pivot	90 000
		Transport	/	25 000
		Électricité (avec un prix subventionné à 50%)	/	23 000
		Total coût de revient	/	390 000

Source : notre enquête 2016/2017

III.3 Génération Ghout/dromadaire vs génération pivot artisanal/pomme de terre : antagonismes et modèles agricoles adoptés

Van der Ploeg (2008) distingue trois modes de production agricole dans son livre sur le repaysannisation : les modes paysanne, capitaliste et entrepreneurial. Le premier correspond à une petite agriculture tournée vers l'usage d'une main d'œuvre principalement familiale, de l'agriculture vivrière et de circuits courts de vente et de production. Le deuxième mode est caractérisé par la mobilisation de capitaux financiers et techniques pour une production de marché, et l'utilisation massive de main d'œuvre salariée. Ce sont souvent des exploitations détenues par des grandes firmes insérées dans des réseaux globaux où consommateur et producteur ne se rencontrent jamais. Le modèle de l'entrepreneur agricole évolue entre les deux modèles précités selon sa taille et ses capacités financières. L'entrepreneur agricole, qui travaille souvent en faire valoir direct, s'assure d'être intégré aux logiques de marché sans condition, pour les intrants et pour l'écoulement de la production, prenant par ailleurs les

devant en matière de mise en pratique des innovations. Certains travaux ont mobilisé le cadre d'analyse de van der Ploeg au Maghreb (Petit et al., 2016 et Petit et al., 2018). Suivant van der Ploeg, ils ont montré l'importance de l'hybridation et de l'évolution entre les modes paysanne, capitaliste et entrepreneurial. En effet, dans le monde entier, il y a un chevauchement considérable et des « passages de frontières » des agriculteurs entre les différents modes de production (Van der Ploeg, 2008 ; Petit et al., 2018). D'une part, sur une exploitation donnée on peut constater un ensemble de pratiques relevant tantôt d'un mode paysan (la production de ses propres semences, par exemple), tantôt d'un mode entrepreneurial (une trajectoire de spécialisation de l'exploitation). D'autre part, une exploitation de type paysan peut évoluer vers une exploitation entrepreneuriale, par exemple quand les enfants reprennent l'exploitation et s'orientent vers une trajectoire de dépendance totale sur le marché. A l'inverse, et c'est la thèse de van der Ploeg, il peut aussi y avoir une repaysannisation quand l'agriculteur revient vers une diversification de l'exploitation, tout en réduisant sa dépendance du marché par exemple. Dans les 35 exploitations, à Oued Souf, nous avons surtout observées une hybridation entre ces deux modes : paysan et entrepreneurial. Pour l'illustration des modes d'hybridation observés nous nous sommes basés sur le profil et le trajet de l'agriculteur ainsi que le fonctionnement de son exploitation agricole. Ce dernier dépend particulièrement des continuités ou pas avec l'agriculture ancestrale traditionnelle, son attitude par rapport à l'innovation, la dynamique (des jeunes surtout) et leur stratégie d'adaptation face aux risques du marché et les barrières socioculturelles et administratives, ainsi qu'aux attentes et objectifs à court et moyen terme. Deux grands types d'exploitations peuvent être distingués.

III.3.1 Exploitations en continuité avec l'agriculture traditionnelle

Ces exploitations se distinguent par une continuité avec l'agriculture traditionnelle, notamment la dominance de la superficie du palmier par rapport à celle du pivot (plus de 50 % de la superficie généralement), un fort attachement à cette culture traditionnelle et à la terre d'où aussi l'application des rotations des assolements dans les parcelles de maraichage, irriguées par pivot artisanal. Ces exploitations mettent le savoir-faire au centre : la taille du palmier et la pollinisation artificielle, une rotation d'assolements, parfois diverses légumineuses sous un seul pivot, la pratique de la jachère et l'autoproduction d'intrants (la reproduction de semences à partir de la semence mère importée et l'utilisation du fumier pour l'amendement organique). L'activité agricole constitue depuis toujours la principale source de revenus et les extensions se font progressivement en fonction des moyens. Les agriculteurs

visent à amoindrir les risques par la diversité de cultures et la limitation de l'endettement. Néanmoins l'intégration de certaines pratiques entrepreneuriales est aussi observée, comme l'introduction du pivot artisanal, une certaine mécanisation, le recours aux revenus hors agriculture et l'apport en engrais chimique, même s'ils mettent des quantités moindres par rapport à d'autres exploitations.

En effet, nous avons quatre exploitations qui font partie de ce premier type. Les propriétaires se considèrent à la fois comme des Fellahs ayant hérité un patrimoine phoenicicole et continuent de produire avec ce patrimoine, mais aussi comme des pionniers dans la nouvelle dynamique.

Nous avons, par exemple, deux agriculteurs fellahs âgés respectivement de 57 et 60 ans ayant hérité respectivement 1 à 3 Ghouts non affectés par la remontée de la nappe contenant entre 50 à 90 palmiers dans chacun. Ils sont aussi parmi les premiers à avoir pratiqué la culture de la pomme de terre irriguée par séguia revêtue au plâtre durant les années 1990 et les premiers à avoir installé le pivot artisanal (pivot symétrique ensuite asymétrique début 2000). Leurs palmiers (*Ghouts*) produisent jusqu'à 80 kg de dattes/ palmier. L'autre partie de leurs exploitations est consacrée à deux pivots, utilisés pour l'irrigation du maraichage diversifié. Ils font des rotations, dont les principales cultures produites sont : l'oignon, l'ail, la pomme de terre, la carotte, l'arachide, l'épinard, le persil, la coriandre, le chou et les arachides. Dès la récolte ils retiennent ce qui doit être stocké comme ravitaillement pour autoconsommation, et les plus grandes quantités seront orientées vers le marché.

Les deux autres agriculteurs ont acheté de nouvelles terres, respectivement de 2 et 3 ha. Elles sont destinées pour des extensions en palmiers irrigués en goutte à goutte, les plantations se font progressivement en fonction des gains annuels. Comme dans l'ancien Houd, une petite bergerie est aménagée dans ces exploitations pour l'élevage de 15 à 30 têtes de brebis. Les 30 à 50 nouvelles têtes d'agneaux produits annuellement sont engraisés durant quatre mois et ensuite vendus lors des fêtes religieuses et mariages. La mixité et la complémentarité entre les composantes du système de production sont remarquables. Par exemple, les quatre agriculteurs utilisent le fumier stocké comme amendement organique dans les parcelles de maraichage sous pivot. Deux agriculteurs utilisent même le pivot pour irriguer et produire des cultures fourragères qui sont stockés comme aliments de bétail.



Figure 32: exploitations en continuité avec l’agriculture traditionnelle.

Cependant, des engrais chimiques, même en minime quantité, sont aussi apportés pour l’amélioration des rendements de maraichage. Ces 4 agriculteurs possèdent des cartes *fellah* et peuvent accéder ainsi à la subvention étatique de 20% sur les engrais chimiques. Ces derniers sont destinés particulièrement aux parcelles de maraichage irriguées par les deux à trois pivots et généralement en petite quantité : par exemple l’un des quatre agriculteurs révèle avoir jamais dépassé 1.5 qx/pivot et les trois autres disent que 4 à 5 qx suffisent largement pour l’ensemble de l’exploitation. En comparaison, comme on va le voir, ces mêmes quantités sont apportées par d’autres types d’agriculteurs pour un seul pivot. En raison de ces petites quantités d’apport chimique, un petit budget inférieur à 30 000 DA lui sera consacré. Ces fellahs ne s’endettent pas généralement et achètent ces engrais chimiques cash auprès de la CASAP et à des prix relativement réduits par rapport aux autres grainetiers (une différence de 200 à 300 DA/produit).

Le bénéfice réalisé à partir de ce système servira à couvrir les charges ménagères et celles de l'exploitation, pour débiter une nouvelle campagne. Le restant sera épargné comme fond d'investissement dans le renouvellement des pivots (durée de vie : 5 à 7 ans), l'achat d'un tracteur, d'un véhicule 4x4 et dans les nouvelles terres destinées majoritairement pour la culture du palmier.

Ces exploitations se distinguent également par la force de travail et le recours à la main d'œuvre salarié qui n'est qu'occasionnelle et complémentaire à la main d'œuvre familiale. Aussi, les activités agricoles représentent la plus importante source de revenus. Par exemple dans trois exploitations nous avons constaté qu'il y avait une répartition des tâches entre les membres de la famille pour assurer des bons revenus. En raison d'un nombre réduit de pivots installés dans l'exploitation familiale ce sont les deux parents et leurs filles qui s'en occupent et les garçons partent procurer des revenus hors exploitation familiale. L'ainé se sert du tracteur pour effectuer le labour chez d'autres agriculteurs (5000 DA/ha) et du véhicule 4x4 pour le transport de la pomme de terre des autres producteurs, du champ jusqu'à l'accès goudronné le plus près. Ses frères travaillent comme ouvriers journaliers dans d'autres exploitations et sont payés 2500 DA/jour. Cependant le travail hors agriculture, même si c'est périodique, est aussi une option pour procurer des revenus lors des autres périodes de l'année. Ces trois *fellahs* gardent l'un de leurs fils pour l'assister dans le travail du palmier (entretien de l'ancien verger et plantation du nouveau) et les autres travaillent dans la maçonnerie et sont parfois conducteurs de camions et manœuvres dans les chantiers de bâtiments. Dans l'une de ces quatre exploitations, le père avait acheté un véhicule pour que son fils puisse procurer des revenus comme taxieur clandestin. Tous les revenus aboutissent dans une seule caisse et généralement la prise de décision revient au père. Le lien familial est aussi très remarquable dans ces exploitations ; par le principe de servir leurs parents, de durabilité de l'héritage ou par crainte d'oser s'opposer aux normes socio-culturelles de cette région, les fils de ces *fellahs* ont choisi de rester dans l'exploitation familiale et de vivre en dépendance de leurs parents.



Figure 33: Un fils de fellah ayant choisi de rester dans l'exploitation familiale, système de culture diversifié (palmiers, élevage et pivot) :

« *La vie rurale m'a forgée. J'ai les mains dures, comme mon père* ».

III.3.2 Exploitations entrepreneuriales en rupture avec l'agriculture traditionnelle

Différemment des exploitations du type précédent, les exploitations à dominance entrepreneuriale se sont mises en place et étendues rapidement à El Oued. Nous allons l'illustrer à travers 13 exploitations qui relèvent de ce type. La plupart du temps l'exploitation est spécialisée, productiviste et intensive. Les 13 agriculteurs conduisent souvent un système monocultural sous pivots (pomme de terre en arrière et plein saison) et apportent dans chacun des pivots plus de 4 qx d'engrais chimiques et plus de 70 t d'engrais organique. Néanmoins, certaines pratiques paysannes sont parfois présentes aussi dans ces exploitations. Par exemple, l'année dernière deux agriculteurs n'ont produit que durant l'arrière-saison et ont laissé leurs pivots en jachère durant la saison, compte tenu de la chute des prix de pomme de terre sur le marché. Trois autres ont préféré produire leurs propres semences pour réduire les charges et la dépendance au marché. Un autre a même démonté un pivot suite à l'épuisement de sol et la chute de rendement pour le remplacer avec un réseau goutte à goutte pour produire de la tomate. Un tel modèle est aussi fondé sur le crédit informel par des relations de confiance et sans contrat écrit. A l'exception de la fiente de volaille, qui est achetée au comptant chez les transporteurs collecteurs, les engrais chimiques, les pivots et parfois même la semence sont achetés au crédit avec des délais de paiement fixés à une saison de pomme de terre. Aussi le recours à la main d'œuvre est très important : généralement un à deux ouvriers permanents et lors des périodes des grands travaux (semence et récolte) les agriculteurs font appel à ce qu'on appelle un chargé de chantier. Celui-ci est un petit entrepreneur payé 200 à 250 DA/casier de

pomme de terre (ou parfois 350 DA/qx), qui recrute à son tour entre 20 à 30 ouvriers journaliers payés 2 500 DA/ouvrier/jour. Même si ces 13 agriculteurs sont conscients des risques de volatilité des prix sur le marché, ils prennent des risques et investissent parfois jusqu'à 550 000 DA par pivot de pomme de terre en une seule saison, notamment pour intensifier l'apport en engrais chimique et organiques ou pour renouveler le sable (en décapitant les premiers 20 cm).

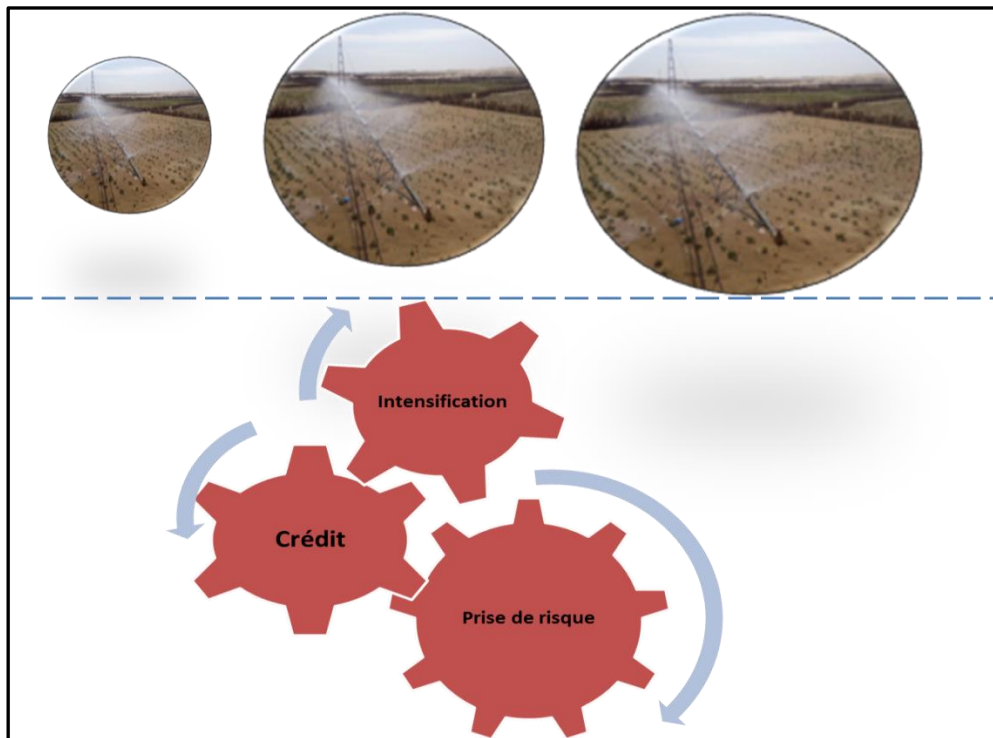


Figure 34: fonctionnement d'une exploitation entrepreneuriale en rupture avec l'agriculture traditionnelle.

La plupart d'entre eux (9/13) sont sans attache rurale directe dans le passé et issue d'autres secteurs économiques. Nous avons dans notre échantillon des commerçants, des entrepreneurs de travaux publics, des transporteurs, des étudiants ou encore des fonctionnaires, et même un pharmacien et un enseignant. Quatre d'entre eux ont fait la remarque qu'ils voyaient l'agriculture comme le domaine des travaux forcés destinés aux indigents et sous-qualifiés et que par la suite la rentabilité, la maniabilité et la flexibilité du système pivot/pomme de terre leur a changé d'avis. Ils ont intégré cette filière dans un but initial de faire une activité complémentaire, puis c'est devenu leur principale source de revenus. Ainsi six agriculteurs ont interrompu leurs études ou abandonné leurs anciennes activités dès 2005-2006. L'attractivité de ce système a aussi provoqué le retour vers l'activité agricole pour certains. En effet, nous avons quatre jeunes issus d'exploitation familiale, de type traditionnel, dans

laquelle ils ont acquis l'expérience et le savoir-faire. Mais face à une vie, qu'ils qualifient de misère, ils ont dû quitter l'exploitation agricole familiale pour aller procurer des revenus durant les années 1990. Deux parmi eux, par exemple, appartenaient à des familles très nombreuses (plus de 10 frères et sœurs) et l'exploitation arrivait à peine à couvrir les charges ménagères. Après le service national, ils ont préféré changer carrément de domaine en se formant dans divers métiers de construction (maçonnerie, faux plafond et plâtrier) et ils ont été recrutés dans des entreprises pétrolières à Hassi Masoud, ce qui assurait relativement de bons salaires. Attirés par la rentabilité du système pivot/pomme de terre, ces derniers ont par la suite démissionné et se sont réinstallés à El Oued, dès l'an 2000.

Certains sont issus d'exploitations agricoles et d'autres ne le sont pas, mais ce qui regroupe ces 13 agriculteurs le plus c'est la spécialisation et le fort engagement dans des exploitations entrepreneuriales par le capital investi pour les aménagements et les installations, l'abandon de l'ancienne activité et l'endettement auprès des grainetiers et ce malgré le fait d'être conscient des risques que cela peut induire : *'' certains de mes proches ont hypothéqué leurs biens, les bijoux de leurs femmes et leurs maisons, pour la pomme de terre''* (selon un agriculteur, 10 ha, 42 ans). Nous comptons six agriculteurs parmi cette catégorie ayant bénéficié des terres dans le cadre de la mise en valeur (APFA) dont quatre ont fait appel à des sous-traitants non conventionnels. Ils ont commencé avec 1 à 2 pivots. A ce propos, ils ont mobilisé une partie de leur capital accumulé par leurs anciennes activités dans les travaux d'aménagement et les installations (voir tableau 10 pour les frais par parcelle de pomme de terre irriguée par pivot). Ils possèdent actuellement entre 10 à 20 pivots avec une moyenne d'extension d'un à deux pivots/année. En revanche trois ont gardé leurs anciennes activités et ont procédé à d'autres moyens et stratégies. Par exemple, l'installation de deux pivots sur une parcelle d'un héritage abandonnée, entrer en association par financement avec un agriculteur producteur, ou encore l'association pour la location et la mise en culture de deux pivots.

III.3.3 L'hybridation des modèles d'agriculture

Toutes les exploitations observées montrent différents degrés d'hybridation et sont dynamiques, en s'adaptant aux circonstances rencontrées. Nous allons illustrer cette hybridation à travers 18 exploitations dont les propriétaires sont des fils de fellahs ou éleveurs. Ces derniers, dès que leurs moyens leur ont permis, se sont orientés vers le maraichage, un système qu'ils ont jugé plus rentable que celui de leurs pères et plus apte à améliorer leur situation financière. Différemment de la précédente catégorie d'agriculteurs souvent spécialisé et en rupture avec l'agriculture traditionnelle, celle-ci opte continuellement

pour la diversité de productions et des sources de revenus, parfois même en associant des pratiques traditionnelles (élevage, palmier et production de semence) ou encore tout en restant attaché avec l'exploitation familiale (figure 35).

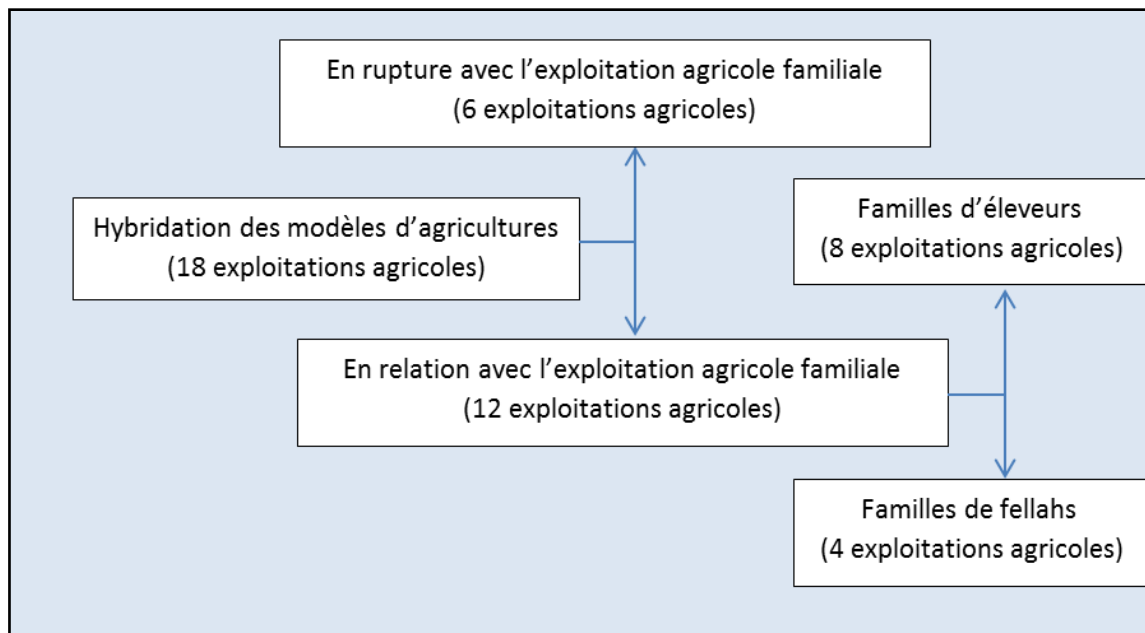


Figure 35: illustration de l'hybridation entre les modèles d'agriculture à travers 18 exploitations agricoles.

(i) *Des fils de fellah entrepreneurs en rupture avec l'exploitation familiale*

Nous comptons six agriculteurs, fils de *fellahs*, qui mènent leur modèle entrepreneurial en rupture avec l'exploitation familiale. Ceci résulte, dans la totalité des cas, du désaccord avec leurs aînés attachés au modèle traditionnel, que ces jeunes qualifient de démodé et peu rentable. Ces jeunes fils de fellahs appartiennent à des familles conservatrices et sont confronté souvent à des barrières socioculturelles, notamment le fait de s'opposer aux choix du père (tant qu'il est en vie). Quitter l'exploitation pour lancer un projet autonome peut être qualifié comme un acte de désobéissance au père et donc enfreint aux traditions. Par exemple, deux jeunes ont révélé que leurs Ghouts étaient affecté par la remontée de l'eau et que leurs pères avaient exigé que le remblayage ne s'effectue qu'après leur décès. Malgré cela ils n'osaient pas s'opposer à cette décision. Cependant, le décès du père et partage de l'héritage peuvent être le tournant pour que ces jeunes puissent s'imposer et participer dans la prise de décision. Une atmosphère d'antagonisme s'installe au sein d'une même exploitation à travers des logiques agraires différentes. Par conséquent, les projets planifiés pour une partie de l'exploitation familiale, non encore exploitée, font l'objet de tensions et de débats intenses. En effet, deux parmi les six jeunes agriculteurs, que nous avons enquêté, se sont séparés de

leurs frères (plus aînés). Ils ont opté pour garder, comme leur part d'héritage, les nouvelles terres de leurs pères pour investir dans le maraichage. Les pères de ces jeunes avaient nivelé ces nouvelles terres et réalisé un puits pour installer deux pivots. Ils ont aussi planifié pour la majorité restante de cette superficie des jeunes plantations de palmiers.

Une fois installé sur ces nouvelles terres, respectivement d'une superficie de 5 et 7 ha (nivelées, équipées de puits mais non encore exploitées), les deux jeunes désormais séparés de leurs frères aînés ont commencé par commander 2 pivots (au crédit) auprès du fabricant que leur père connaissait déjà. En attendant l'acquisition des deux pivots, ils se sont mis à reproduire leur propre semence en utilisant l'un des deux pivots déjà existants. D'ailleurs, comme leurs pères, ils optent toujours pour reproduire (durant la saison) leur propre semence sous l'un des quatre pivots (les autres sont laissés en jachères) ce qui leur permet de semer à temps (dès fin août) et de récolter dès mi-décembre et donc d'arriver sur le marché bien avant les autres agriculteurs qui attendent l'arrivée de la semence du Tel (nord du pays) sur le marché avec parfois des retards dans les livraisons. Ce qui lie ces deux jeunes également avec le système traditionnel c'est la diversité de cultures ainsi que l'application d'assolements en rotation et de la jachère (figure 35). Ils ont laissé respectivement 1 et 3 ha pour cultiver d'autres cultures. Les bons bénéfices réalisés en 2013 à partir des deux pivots de pomme de terre (année durant laquelle les prix ont atteint les 70-80 DA) ont été réinvestis : dans la mise en culture des quatre pivots déjà existant en pomme de terre et d'un demi hectare de tomate en plein champs irriguée en goutte à goutte ainsi que dans la mise en place d'une serre de piments et poivron (figure 36). Cette diversité est vue par eux comme un moyen pour compenser les pertes en cas de chute des prix de la pomme de terre sur le marché ainsi que pour préserver la fertilité du sol. En vue de faire des extensions ils ont déposé des dossiers pour bénéficier des terres dans la cadre des programmes de l'état pour la mise en valeur et ils prévoient d'installer plus de pivots pour le maraichage (en particulier la pomme terre). Ils visent également à acheter un tracteur qui leur servira, en plus du travail du sol de leurs parcelles, comme seconde source de revenus. Ces deux jeunes achètent les engrais organiques en liquide sur le marché chez les transporteurs collecteurs (apport de 70 t/pivot de pomme de terre). Ils possèdent des cartes fellahs et peuvent accéder ainsi à la subvention sur les engrais chimiques, mais ils achètent au crédit chez les grainetiers, vue l'importance de l'apport (4q/pivot), qui demande assez de moyens financiers pour les quatre pivots.

En revanche, les frères (plus aînés), de ces deux jeunes, n'ont pas voulu intégrer le maraichage par crainte des risques économique qu'il implique, en particulier l'endettement

auprès des grainetiers et des fabricants de pivots. Ils ont préféré garder les anciennes exploitations de leurs pères contenant respectivement deux pivots et 180 palmiers, et un pivot et 156 palmiers, ainsi que les maisons parentales, qui leur font rappeler le patrimoine que leurs pères ont construit. Ils mènent aussi d'autres activités notamment le commerce et les divers métiers (mécanique, maçonnerie) ou encore sont salariés dans le secteur public. Chacune de ces deux familles a confié l'exploitation à l'un des frères qui leur attribue une récompense financière après récolte et fin de campagne.

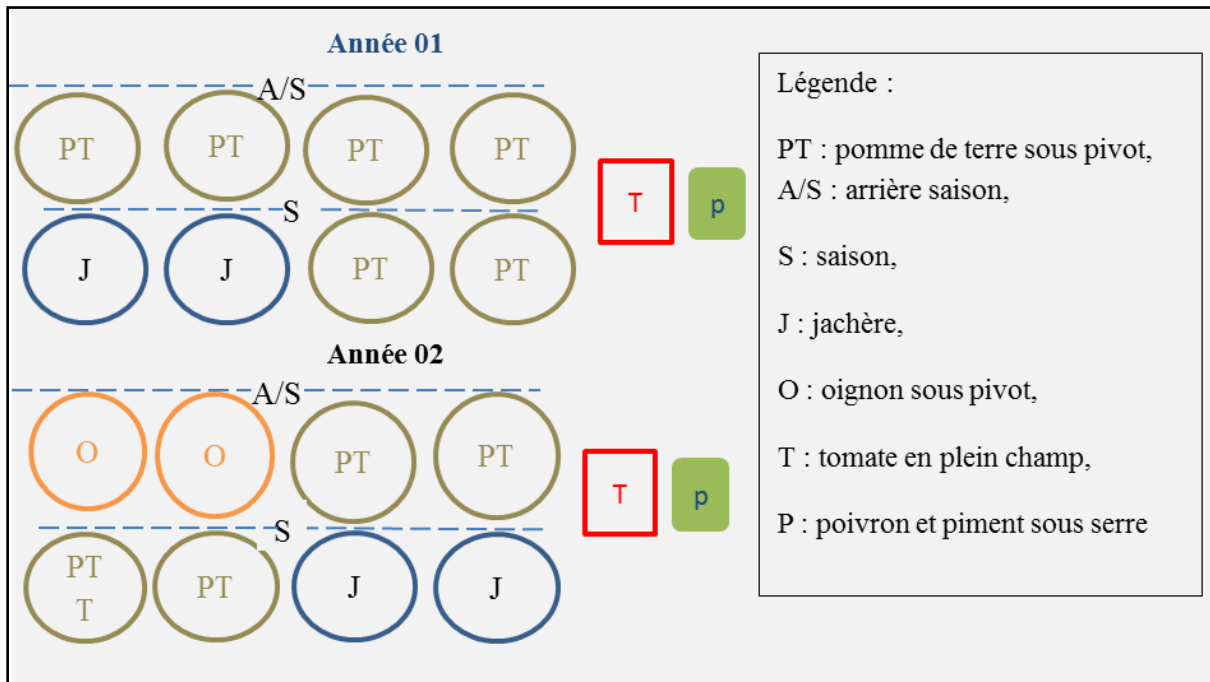


Figure 36: exemple d'une rotation des assolements sur une exploitation agricole hybride.

Cependant, les autres quatre jeunes (parmi les six fils de fellahs citées précédemment) n'ont pas attendu aussi longtemps (jusqu'à l'héritage d'une terre). Dès la fin du service militaire, ils ont décidé d'investir hors exploitation agricole en procédant à la location de deux pivots équipés de puits et groupe motopompe chez d'autres agriculteurs. Pour accumuler le capital nécessaire, notamment les frais de location (120 000 DA/pivot) et les frais de semences et engrais organiques, ces quatre jeunes ont dû travailler pendant deux années comme ouvriers journaliers dans les chantiers agricoles et de maçonnerie (payé 2500 Da/jour). Ils se sont servis des engins familiaux (après l'autorisation du père) : des tracteurs pour effectuer le labour chez d'autres agriculteurs (5000 Da/ha), et des camions pour transporter des citernes d'eau potable, matériaux de construction et pomme de terre.

La position de leurs pères fellahs diffère de ceux des deux premiers. Elle consiste à aider leurs fils, avec les moyens à bord, pour monter leur projet maraicher sous pivot mais l'exploitation

familiale *‘est une limite à ne pas franchir’* (selon un fellah, 58 ans) et les risques doivent être couru loin de cette dernière.

Par manque de moyens financiers, durant la première campagne, les quatre jeunes ont commencé par d'autres cultures qui demandent moins de capital financier, notamment l'ail et l'oignon en arrière-saison et l'arachide pendant la saison. Les bénéfices réalisés par ces cultures en 2012, entre 250 000 à 350 000 DA/pivot, leur ont permis d'investir par la suite dans la pomme de terre. Aujourd'hui, ces quatre jeunes possèdent de 3 à 7 ha. Deux d'entre eux ont bénéficié d'un accès à la terre dans le cadre du programme de Mise en Valeur et ils ont choisi des terres proches des zones agricoles équipées en réseau public d'électricité (environ 1.5 km de distance). En se mettant d'accord avec des connaissances, cela leur permet d'accéder à leurs compteurs électriques (ils payent leurs tranches de consommation). Ils ont installé deux pivots et prévoient de faire des extensions en pivots pour faire du maraichage diversifié. Alors que les deux autres jeunes préfèrent éviter l'administration à tout prix, compte tenu de leur situation non encore régularisée vis à vis du service militaire (ils sont classés comme « insoumis »). Leur installation a coïncidé avec de bon prix de vente de pomme de terre en 2013. Le capital accumulé a été investi dans l'achat des terres dans des zones désertiques à grand dunes, au milieu de l'erg et non alimentée en réseau public d'électricité (pour un prix d'environ 180.000 DA/ha). Par manque de moyens, les terres de ces jeunes restent toujours vierges et inexploitées, et ils estiment que pour commencer sur ces terres lointaines et isolées il leur faudra un minimum de capital d'investissement de 4 500 000 DA. Cette estimation comprend les charges suivantes : le nivellement de la terre, la réalisation d'un puits, l'installation d'un pivot, le moteur diesel, frais de gasoil, le véhicule 4x4 pour le transport du gasoil et des intrants, les engrais chimique et organique et les semences, et la main d'œuvre. Ces deux jeunes agriculteurs restent locataires tout en espérant d'accumuler les prochaines années assez d'argent pour s'installer sur leurs terres ou encore de trouver un associé qui finance leurs projets.

La particularité de ces six jeunes fils de fellahs est que les pratiques paysannes sont continuellement présentes dans leur exploitation, malgré le fait qu'ils mènent une agriculture entrepreneuriale en rupture avec l'exploitation familiale et qu'ils prennent des risques du marché. Cela est illustré notamment par l'utilisation de l'innovation endogène (pivot), par l'autoproduction de semence et par la diversité de cultures maraichères suivant ainsi les conseils de leurs pères : *‘La pomme de terre est un vice, si on s'aventure dedans on se retire*

jamais, elle conduit vers l'endettement et implique trop de risque'', selon un témoignage d'un Fellah (60 ans, 3 ha).

(ii) *Intégration de l'agriculture entrepreneuriale familiale dans un ensemble d'activités entrepreneuriales*

En ce qui concerne les 12 autres exploitations, l'hybridation entre les deux modèles est encore plus remarquable, en particulier à travers la diversité des activités et les relations intrafamiliales. Ces agriculteurs ont grandi avec un attachement familial. Ils ont commencé leurs trajectoires professionnelles dans les exploitations agricoles de leurs pères fellahs et éleveurs, mais par la suite ils se sont orientés vers d'autres activités hors agriculture tout en restant liés à l'exploitation familiale. Ces familles sont restées sur une stratégie de gestion collective de leurs différentes activités (même après le décès de leurs pères).

Huit agriculteurs, parmi ces 12, appartiennent à des familles d'éleveurs, en associant le système d'élevage au palmier dattier dans certains cas. Il s'agit de familles nombreuses, contenant jusqu'aux 8 à 12 frères et sœurs.

A l'exception des deux familles F7 et F8, qui étaient des nomades mais sont entrées en ville durant les années 2000, les autres six familles sont des gens de la ville. Le système d'élevage de ces dernières se spécifie par la répartition de leurs cheptels en deux sortes de troupeaux. Le troupeau destiné pour le pâturage (Elsarha), qui comprend des chamelles et des brebis, est confié aux nomades pour le pâturage dans les zones de parcours. Ensuite chaque brebis ou chamelle nouvellement né sera gardé dans ce troupeau d'Elsarha. Les chamelons resteront jusqu'à l'âge de deux ans puis seront vendus dans les marchés de gros. Quant au deuxième troupeau d'engraissement, il comprend les vaches de réforme majoritairement et non pas laitières. Elles sont engraisées dans l'écurie où s'effectue également l'engraissement des agneaux et des veaux qui seront vendues pendant les fêtes religieuses et des mariages ou encore seront livrés (après abattage) aux cantines des compagnies pétrolières à Hassi Masoud.

Les revenus réalisés annuellement couvrent les charges ménagères (y compris la construction des maisons pour leurs fils), les frais d'entretien des palmiers ainsi que les charges d'élevage, notamment le paiement des nomades (2500 DA/mois/camelin et 200 DA/mois/ovin) ainsi que les frais d'engraissement (1200 DA/ agneau et 20 000 DA/bovin). Quant au reste des revenus réalisés annuellement, il est épargné comme fond d'investissement à moyen terme (5 à 10 ans) pour le renouvellement du troupeau, notamment le renouvellement des brebis et vaches de reproduction.

Tableau 11: Héritage de chacune des huit familles d'éleveurs

Famille	Palmiers	Nombre de têtes d'ovins	Nombre de têtes de bovins	Nombre de têtes camelines (dromadaires)
F1	Ghout irrigué (2.5 ha, 250 palmiers)	900	80	7 chamelles
F2	3ha irrigué (300 palmiers)	100	/	40 chamelles
F3	/	900	80	100
F4	4ha irrigué (400 palmiers)	57	/	/
F5	/	60	/	25 chamelles
F6	/	300 brebis+ 500 agneaux	/	/
F7	/	200	/	5 chamelles
F8	/	100	/	/

Ces familles ont intégré le maraichage sous pivots artisanaux relativement tard, après 2006-2008, malgré le fait d'avoir des moyens financiers le permettant avant et ce pour des considérations socioculturelles. En effet, les fils de ces éleveurs étaient en désaccord avec leurs pères éleveurs qui souhaitaient que leurs fils héritent le patrimoine construit à travers des années et assurent sa continuité génération après génération. Ils leur ont interdit d'investir dans le maraichage et ces jeunes devaient obéir à leurs pères même si c'était contraire à leur volonté et au détriment, ils pensaient, de leurs avenir. Néanmoins leurs pères ont accepté de financer leurs projets dans d'autres domaines qu'ils jugeaient plus durables et économiquement moins risqués que le maraichage. Ainsi, au début des années 2000, 2-15 million DA (accumulés à partir du palmier et de l'élevage) ont été investi par ces familles dans le lancement d'autres projets, notamment l'achat d'engins et leur location aux entreprises de travaux publics, l'achat d'autobus destinées pour des lignes de voyage inter wilayas, des hangars de stockage et de vente en gros des produits agroalimentaires, le commerce en gros des aliments de bétail ainsi que la mise en place d'un atelier de fabrication de pivot. Deux à quatre frères de chacune des six premières familles (voir tableau 11 ; F1-F6) se sont associés pour gérer et suivre ces projets, en laissant leurs autres frères avec leurs pères s'occuper de l'exploitation agricole et de l'élevage. Ces divers projets représentent jusqu'à ce jour une seconde source de revenus pour ces familles. Après le décès de leurs pères, les héritiers ont enfin pu investir dans le maraichage comme ils le souhaitaient et ils se sont répartis les tâches. Généralement les deux à trois frères les plus aînés qui étaient dans l'activité hors agricole sont restés et ont désigné deux à trois plus jeunes frères (parmi ceux

qui accompagnaient leurs pères dans l'exploitation familiale, ayant également acquis une certaine expérience en fréquentant et observant des producteurs de pomme de terre) pour réaliser et suivre le projet de la nouvelle exploitation agricole consacrée au système pivot/pomme de terre. Dans deux familles parmi ces six (**F3, F4**), les héritiers ont opté pour garder l'héritage tel qu'il leur a été laissé, pour tenir leur promesse à leurs pères. Ceux-ci ont investi une partie du capital accumulé (durant 6 et 7 ans) par leurs activités hors agricole pour réaliser une exploitation de production de pomme de terre sous pivots artisanaux. Cela signifie que cette fois-ci et inversement à la première situation, le flux de financement va de l'activité entrepreneuriale vers l'agriculture. Contrairement à cela les héritiers de **F1, F2, F5 et F6** ont opté pour vendre les têtes d'ovins et bovins pour investir dans le système pivot/pomme de terre, ce qui signifie une rupture plus brusque dans l'exploitation.

En ce qui concerne les familles **F7 et F8**, qui sont d'origine nomade, leurs fils se déplaçaient souvent en ville pour travailler comme ouvriers chez des producteurs de pomme de terre ce qui leur a permis d'acquérir un savoir-faire. Après le décès de leurs grands-pères, ils sont arrivés à convaincre leurs pères par l'idée de vendre leur part d'héritage d'ovin pour habiter en ville et investir dans le système/pivot pomme de terre.

Les fils chargés du projet maraichage dans chacune de ces six familles (F1-F6) n'ont pas tenté de déposer des dossiers pour bénéficier des terres dans le cadre du programme de mise en valeur : *''nous avons déjà trop patienté jusqu'au décès de notre père et en plus les procédures de ces programmes traînent énormément, et nous étions convaincu qu'ils nous refuseront notre demande et nous diront que nous sommes pas des fils de Moudjahid ou un militant du partie FLN ou encore que nous possédons assez de moyens (terre et élevage) et qu'il y a d'autres qui sont prioritaires''* selon le témoignage d'un agriculteur (30 ha, 39 ans). Ils ont donc procédé à l'achat des terres auprès de quelques bénéficiaires du programme APFA et de concession agricole, dans des zones agricoles raccordées au réseau public d'électricité dans la commune de Hassi Khalifa (notamment le lieudit Shine) pour un prix moyen de 250 à 300 milles DA/ha. Ces terres ont été distribuées initialement, entre 2005 et 2010, et elles ont été vendu illicitement (sans papiers) par les bénéficiaires : *''c'étaient des terres qui ont été attribuées à des jeunes universitaires (nouveaux diplômés, chômeurs qui habitent El Oued centre) n'ayant pas assez de moyens, d'expériences et de connaissances (notamment des fabricants de pivots, grainetiers et transporteurs vendeurs) pour accéder au crédit des pivots artisanaux et intrants''* selon témoignage d'un agriculteur (30 ha, 39 ans). Dès l'achat de ces terres, ces agriculteurs ont commencé l'aménagement des parcelles en forme circulaire d'un

hectare pour l'installation des pivots (voir tableau 12, présentant la moyenne des coûts d'installations et investissement annuel). Les deux familles **F3, F4** n'ayant pas vendu leurs héritages, sont allés avec un rythme d'installation équivalent à un pivot/année et ils sont aujourd'hui respectivement à 4 et 6 pivots. De même, les deux familles de nomades (**F7 et F8**) par manque de moyens (beaucoup de capital a été mobilisé pour la construction d'une maison) sont aujourd'hui respectivement à 2 et 3 pivots. Quant aux autres familles (**F1, F2, F5 et F6**) leur moyenne d'extension a été de 3 à 4 pivots/ année jusqu'à atteindre plus d'une dizaine de puits et plus d'une vingtaine de pivots (voir tableau 12).

Tableau 12: Extension en pivots artisanaux pour les familles d'éleveurs

Famille	Nombre de pivots installés	Moyenne d'extension annuelle	Investissement moyen annuel pour installation (DA)
F1	26 pivots	3 pivots/an	2,1 millions
F2	27 pivots	3 pivots/an	2.1 millions
F3	6 pivots	1 pivot/an	700 000
F4	4 pivots	1 pivot/an	700 000
F5	30 pivots	4 pivot/an	2.8 millions
F6	26 pivots	4 pivots/an	2.8 millions
F7	3 pivots	1 pivot/an	700 000
F8	2 pivots	1 pivot/ 2 ans	350 000

Ces derniers n'étaient consacrés qu'à la pomme de terre en arrière et plein saison. C'est un système monoculturel intensif et basé sur le capital financier (le coût de revient est jusqu'à 500 000 DA/pivot/saison), l'intensification par des engrais chimiques et organiques (4 jusqu'à 5 q d'engrais chimiques et 60 jusqu'à 80 t de fiente de volaille par pivot), et sur le salariat (recrutement de 2 à 3 salariés permanents payés 30 000 à 35 000 DA/mois et lors des périodes des grands travaux (récolte et semence, les producteurs font appel aux chargés de chantiers).

Ces agriculteurs ne font pas la reproduction de semence mais achètent au comptant une semence produite localement dans le nord du pays. D'après leurs dires c'est de la "semence du Tell reproduite à partir de la semence mère importée".

(iii) *Reconstruire le modèle traditionnel en pratiquant l'agriculture entrepreneuriale*

Les quatre exploitations restantes, parmi l'échantillon, appartiennent à quatre familles de *Fellahs*. Les jeunes de ces familles sont également parmi les premiers à avoir adopté l'idée du pivot artisanal et leurs pères les ont autorisés de s'orienter vers le maraichage sous pivot au sein de l'exploitation familiale. Pour leurs pères fellahs le pivot a été une stratégie pour

procurer des revenus et atteindre un objectif précis, par exemple replanter un nouveau verger de palmiers en goutte à goutte. Ces fellahs ont hérité des ghouts à la fin des années 1980, (2-3 ha de palmiers plus 1 ha de maraichage en séguia, pour chacun), mais des ghouts affectés par l'effet de la remontée des nappes, en déclin et non productifs : *''Les gens du nord parlent souvent de la ville de mille et une coupoles, mais en réalité les Ghouts ont été hérité à travers 4 générations et sont plus anciens que les coupoles. Aujourd'hui le Ghout a disparu et devenu comme une sorte de légende, comme s'il n'a jamais existé auparavant ! Nous cédon la place à la génération pivot''* selon témoignage d'un fellah (73 ans, 5 ha).

Ces fellahs, en dehors des parcelles de 1 ha de légumineuses qu'ils cultivaient à côté de ces ghouts en déclin, devaient travailler comme ouvriers dans d'autres exploitations pour couvrir les charges ménagères et subvenir aux besoins de leurs familles. Leurs fils (très jeunes à l'époque) ont choisi de fuir vers un autre domaine et apprendre différents autres métiers (mécanique, menuiserie aluminium, maçonnerie, soudure, plâtrier etc.) et construire leur avenir. Ils ont travaillé comme ouvriers chez d'autres artisans, puis ils ont ouvert leurs propres ateliers. Cette orientation leur a permis de procurer des revenus et participer au financement des travaux de réaménagement de leurs anciennes exploitations familiales qui étaient en déclin, par exemple par la location d'engins pour remblayages des ghouts et le nivellement du terrain, ainsi que la réalisation de deux nouveaux puits : *''Mon père a refusé d'y assister et il est allé chez notre tante à Biskra, nous faisons le suivi de ces travaux à tour de rôle, moi et mes frères. Il nous disait qu'il s'est jamais senti si triste et qu'il n'a jamais connu une telle cruelle disgrâce''* selon un témoignage de l'un des agriculteurs interviewés (42 ans, 7 ha).

Ces familles ont commencé avec un pivot et ils ont occupé progressivement le restant de leurs anciennes exploitations "remodelées" jusqu'à atteindre 3 à 5 pivots artisanaux. En raison de leurs autres occupations, ces jeunes n'assuraient que le financement et c'étaient leurs pères qui supervisaient l'exploitation en recrutant un salarié permanent, le plus souvent quelqu'un de la famille et pas un étranger. Ils faisaient appel aux chargés de chantiers lors des travaux de semence et récolte. Le système de culture est diversifié. Ils reproduisent leur propre semence dans l'un des pivots, appliquent des assolements en rotation lors de l'arrière-saison (pomme de terre, ail, oignon et arachide) et laissent des parcelles en jachères pendant la saison. Aussi un demi-hectare est consacré à la tomate en plein champ, irriguée en goutte à goutte. Ils achètent au comptant les engrais chimiques à des prix subventionnés chez la CASAP et apportent 2qtx/pivot. De même pour la fiente volaille ils l'achètent au comptant sur les marchés auprès des vendeurs collecteurs. Une grande partie du capital accumulé par le

maraîchage sous pivots a été investi pour mettre en place un nouveau verger de palmiers. Deux familles ont bénéficié respectivement de 4 et 8 ha dans le cadre de l'APFA alors que les deux autres ont acheté 3 ha chacune. Ils ont voulu être proches de l'ancienne exploitation (moins d'1 km de distance par rapport à l'ancienne, pour que leurs pères âgés puissent intervenir dans les deux) et tout près de l'accès routier.

Ces nouvelles terres étaient destinées majoritairement pour des plantations de palmier plus un ou deux pivots dans chaque exploitation, qui servent à la reproduction de semence pour leurs anciennes exploitations de production (exploitations remodelées en pivot/maraîchage). En comparaison avec les stratégies des autres familles (fellahs, éleveurs et entrepreneurs), décrites précédemment, la stratégie de ces quatre familles converge avec eux dans l'adoption du pivot ainsi que dans la combinaison des pratiques paysannes et entrepreneuriales : l'autoreproduction de semence, l'importance du palmier dans l'exploitation, l'installation des pivots, le flux du capitale financier à partir des revenus de et hors agriculture, une répartition familiale des tâches, l'extension progressive de la mise en culture irriguée, les diverses sources de revenus, le fait de faire appel aux entrepreneurs pour les récoltes ainsi que des artisans pour l'équipement. Cependant, elle diverge du modèle de front pionnier adopté du fait que le pivot a pris la place des anciens palmiers pour produire du maraîchage (sur l'ancien espace agricole) et que les nouveaux espaces ont été destinés pour la reconstruction du verger phoénicicole et la reproduction de semences sous pivot.

III.4 Le rôle des acteurs de la filière

Les acteurs de la chaîne d'approvisionnement sont des catalyseurs de l'expansion de l'agriculture irriguée. Grâce à leurs activités informelles, ils contribuent à réduire les risques de marché, à faciliter le crédit et l'accès aux subventions, et diffuser l'innovation (Lejars et al., 2017). Dans notre cas, le système entrepreneurial à Oued Souf est fortement adossé à de tels acteurs avec lesquelles les agriculteurs développent des relations de confiance et sans contrat écrit. D'abord, l'approvisionnement en équipement d'irrigation est assuré par des artisans fabricants des pivots, très à l'écoute de la demande des agriculteurs utilisateurs. Ils reçoivent leurs commandes, produisent en série, assurent le montage et la réparation, et leur accordent une garantie de fonctionnement et une prolongation du délai de paiement fixé à une saison de pomme de terre. Ils fournissent ainsi non seulement un service technique, mais assurent aussi un rôle important pour la mise en culture, l'implication des acteurs de la filière joue également. Les transporteurs collecteurs assurent la disponibilité et la livraison des intrants jusqu'à l'exploitation. e fonction de crédit.

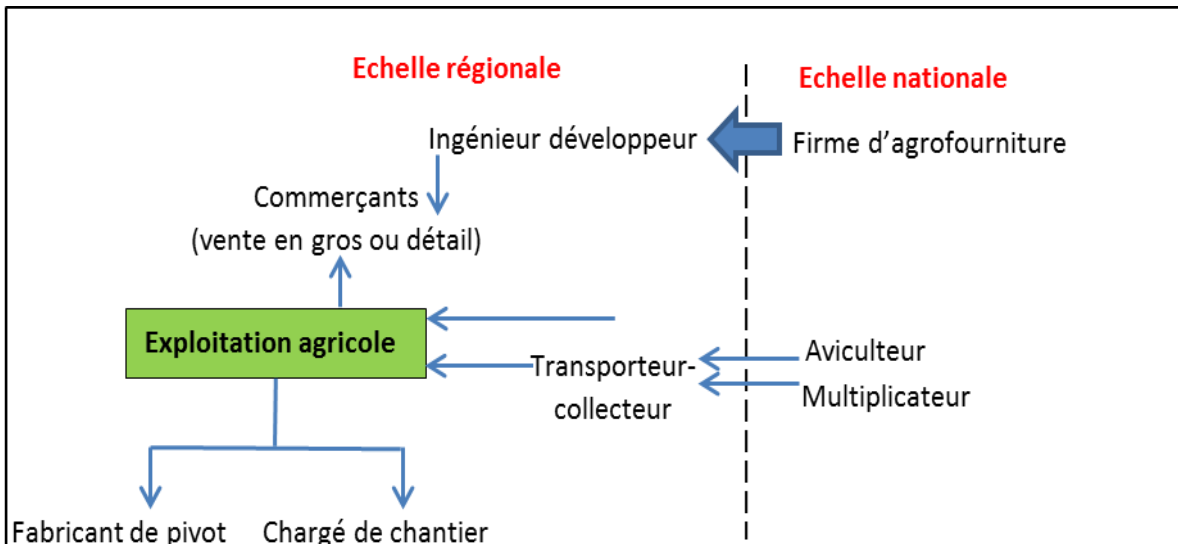


Figure 37: Acteurs de la chaîne d'approvisionnement.

Des entrepreneurs, notamment les chargés de chantiers, des collecteurs de main d'œuvre, des propriétaires de camions et opérateurs d'engins, interviennent lors des périodes des grands travaux (travail du sol, semence, épandage des engrais, récolte, ...), permettant aux agriculteurs la production et l'entrée sur le marché au moment souhaité. De ce fait, pour assurer la disponibilité d'une quantité suffisante en semence et fiente de volaille et semer à temps la pomme de terre sous plus d'une vingtaine de pivots artisanaux, les agriculteurs se servent de leurs connaissances personnelles, notamment par le biais des transporteurs collecteurs actifs à l'échelle nationale, pour s'abonner chez des multiplicateurs de semences et aviculteurs (pour la fiente de volaille) dans le nord du pays. Ce sont généralement des anciens de la région et bien connus dans le Souf. Cela représente pour ces agriculteurs une assurance de la livraison de leurs commandes au moment optimal pour semer en arrière-saison (fin aout au début septembre) ainsi que d'obtenir une bonne qualité de semence, homologuée et certifiée par les instituts et établissements étatiques de contrôle et stockée dans des conditions conformes aux normes techniques. Cet abonnement consiste à des accords de principe que fait l'agriculteur client avec le multiplicateur et l'aviculteur pour la livraison des quantités précises au début de chaque arrière-saison, estimée sur la base du nombre des pivots installés. Dans le cas où l'agriculteur viserait à diminuer ou augmenter ces quantités, il doit les informer préalablement, généralement avant mi-aout. Les unités utilisées sont généralement le grand ou le petit camion (équivalent respectivement à 10 et 20 t) pour la fiente de volaille et les quintaux pour la semence. Parfois le client abonné sera privilégié par quelques avantages : notamment le prix unitaire varie selon la quantité totale livrée et l'ancienneté du client. En cas de manque, si par exemple l'offre ne répond pas aux quantités totales commandées par

l'ensemble des clients, l'ordre de priorité dans la livraison sera comme suit ; client abonné, ensuite client occasionnel et enfin nouveau client. En ce qui concerne les engrais chimiques, la majorité des agriculteurs dispose d'une carte fellah et bénéficie de la subvention de 20 %. Sur notre échantillon, 28 agriculteurs achètent ces engrais chimiques au crédit auprès du grainetier, où ils se sont abonnés sans contrat écrit. En Algérie, la commercialisation et la circulation des engrais à base de nitrate sont strictement contrôlées du fait de leur usage potentiel dans la fabrication artisanale d'engins explosifs (Derderi et al., 2015). Les quantités que les services de l'agriculture autorisent aux agriculteurs, calculées sur la base de la superficie emblavée, représentent pour ces 28 agriculteurs moins de 50 % de ce qu'ils apportent réellement. Ils essayent donc de compenser ce déficit en utilisant informellement des cartes fellah d'autres agriculteurs qui n'ont pas produit des cultures maraîchères. Quant à la vente de la production, elle se fait sur place tout près de l'exploitation et sans que l'agriculteur ne se déplace sur les marchés de gros. Ce dernier aura la charge de payer les frais du transport de la marchandise jusqu'à l'accès goudronné le plus près. Les transactions se font préalablement dans un lieu précis et connu appelé "placette des courtiers", un lieu de concentration des acheteurs, transporteurs, vendeurs et intermédiaires. Dans la majorité des cas la transaction se fait directement sans intermédiaire, mais certains agriculteurs, généralement nouveau dans le domaine, font appel à des courtiers (généralement locaux) qui sont en relation avec des transporteurs acheteurs-revendeurs du nord du pays. Ces courtiers assistent à la transaction, témoignent de l'accord initial et arbitrent entre les deux parties en cas de litige.

À l'amont de l'exploitation, les acteurs de cette chaîne d'approvisionnement interviennent principalement dans la fourniture et la vente des intrants ainsi que dans le conseil. L'accroissement du nombre de ces acteurs est parvenu compte tenu la forte demande d'intrants et du manque du service d'approvisionnement. Il a suivi l'expansion des superficies de pomme de terre passées de 800 ha en 2000 à plus de 35 000 ha en 2013 produisant plus d'un million de tonnes annuellement et couvrant 40 % du besoin national en ce produit. Les agriculteurs interviewés estiment le prix moyen de vente à la sortie de l'exploitation, durant cette campagne 2016/2017, à 35 DA/kg. Avec ce prix-là la quantité produite représente une valeur monétaire de près de 35 milles millions DA, équivalent de plus de 261 million euro. Selon les chiffres officiels, durant la même campagne, cette quantité est produite dans près de 10 500 exploitations agricoles totalisant d'une superficie, réellement semée et récoltée, de 30 000 ha dont 24 000 ha sont irrigués par pivot artisanal et 6 000 ha en goutte à goutte.



Figure 38: Vente des produits tout près de l'exploitation et sans que l'agriculteur ne se déplace vers le marché.



Figure 39: concentration des transporteurs revendeurs sur l'accès goudronné.

Au début des années 2000 les deux CASAP de Ghamra et El Oued centre étaient pratiquement les uniques points de vente d'intrants existant sur l'ensemble du Souf, couvrant chacune d'elle le besoin de près 200 agriculteurs *"En toute sincérité la vente d'intrants agricoles était un domaine que je qualifierai de vacant, il n'y avait que 2 grainetiers [en dehors des deux CASAP]. Quand la demande en ces produits a accru notre service, dès 2005, a facilité l'attribution des agréments aux agronomes pour cette activité et j'ai rapidement*

saisi cette opportunité. J'ai démissionné de mon poste et j'ai commencé officiellement cette activité après 6 ans de vente informelle dans les Souks'' (Ex chef de bureau-service protection de végétaux (DSA), grainetier depuis 2005).

Sur notre échantillon de 35 agriculteurs, 6 ont témoigné du manque d'intrants sur le marché durant cette période et ce en vue du manque du nombre des grainetiers locaux ; ce sont des vendeurs détaillants ou grossistes, agronomes de formation et agréés par l'Etat pour vendre des intrants agricoles. Aujourd'hui, ils vendent généralement différents produits offerts par les firmes privées sur le marché et parfois quelques grainetiers, nouveaux généralement, peuvent se spécialiser sur les marques de 3 à 4 firmes. Ainsi le nombre de firmes privées d'agrofouritures opérationnelles au niveau d'El Oued est passé de 2 en 2003 à plus de 15 en 2013. En plus des relations commerciales, ces firmes optent, à travers les grainetiers locaux ainsi qu'à travers leurs ingénieurs représentants dans la zone, à offrir des services auxiliaires aux agriculteurs, comme moyen de fidéliser la clientèle. Le crédit informel est parmi ces stratégies, pour s'adapter au marché et aux besoins des agriculteurs clients. Les firmes reçoivent, par le biais de leurs représentants technico-commerciaux dans la zone, les commandes des grossistes et leur fournissent, en début de chaque saison, des quantités de produits (pesticide, engrais, semence, produit phytosanitaire,...) sous forme de crédit. Un contrat formel sera établi entre les deux parties et ces grossistes s'engagent même avec une caution (signature d'un chèque d'une somme équivalente). Ils peuvent être aussi des distributeurs exclusifs d'un ou de quelques produits de cette firme. Par la suite, les grossistes fournissent, à leur tour et sous forme de crédit également, aux détaillants et vendent aux agriculteurs. Cette dernière relation est plutôt basée sur la confiance et les clients sont évalués et triés selon leur réputation dans la zone.

Dans un tel contexte informel, les agents ne peuvent compter sur le tribunal pour faire respecter le contrat, des garanties formelles ne sont pas pertinentes, et les contrats n'ont même pas besoin d'être écrit (Lejars et al, 2017 ; MacLeod, 2007). Le nouveau client-agriculteur peu connu dans la zone passera d'abord par une phase de test durant une à deux saisons en leur accordant un taux de crédit de 20 à 40 % sur l'ensemble des produits demandés. Puis cette confiance se développe progressivement et le crédit pourra être généralisé ensuite sur l'ensemble des produits demandés (100 % crédit). Cette phase de test permettra au vendeur (détaillant ou grossiste) d'évaluer le comportement de son client-agriculteur notamment la fiabilité de sa parole. La réduction d'une marge de 20% sur les prix engrais chimiques, lié à la subvention étatique, sera aussi prise en considération et l'agriculteur doit, dans ce cas,

présenter sa carte fellah afin de remplir le bon de commande et le formulaire type à son nom. Les cartes d'autres agriculteurs seront également, informellement, acceptées pour couvrir son besoin réel. Sur la base de ces pièces le vendeur sera par la suite remboursé par l'Etat. Ce processus est long et complexe mais la majorité des vendeurs (détaillants et grossistes) l'adopte pour attirer plus de clients. Pour la même raison, certains vendent de la semence de pomme de terre (sous commande dans certain cas), malgré la faible marge de profit généré par ce produit estimé à moins de 5 DA/kg.

Les délais du paiement du crédit sont généralement fixés à une saison de pomme de terre et dès la récolte l'agriculteur est tenu de payer ses dettes auprès du détaillant, qui payera, à son tour, le grossiste. Ce système de vente au crédit, assuré par des fabricants de pivots et des fournisseurs d'intrants, a joué un important rôle dans l'expansion des superficies irriguées à El Oued notamment dans le développement de la filière de pomme de terre. Cependant, cette filière est exposée aujourd'hui à une forte volatilité de marché, ce qui a induit un retardement dans le paiement des dettes par les agriculteurs. Ceci s'est répercuté négativement sur l'ensemble des acteurs de la chaîne en particulier les grossistes qui se sont engagés avec la caution (signature d'un chèque). Pour ces derniers, les firmes utilisent la caution comme moyen de pression pour le recouvrement des créances, et ils seront donc dans l'obligation à mettre la pression sur les détaillants et clients agriculteurs. Ceci a conduit de nombreux vendeurs détaillants et grossistes de prendre de nouvelles mesures, aussi bien envers les agriculteurs, notamment la limitation des crédits et la prise en considération des nouveaux critères de sélection des agriculteurs, qui seront privilégiés par le crédit. Il s'agit notamment de leurs capacités d'investissement ainsi que leur aptitude à prendre des risques. D'ailleurs l'ensemble des vendeurs (détaillants et grossistes) interviewés ont révélé qu'ils ont non seulement réduit le nombre de clients privilégiés par le crédit à 60 % sur l'ensemble des clients mais aussi le taux du crédit (ce dernier varie selon les capacités et solvabilité de l'agriculteur). D'autres mesures ont aussi été prises envers les fournisseurs en particulier : s'entendre préalablement (avant fourniture) sur une possibilité de prolongation des délais en cas de mauvais recouvrement des créances, diversifier les sources de fourniture et faire des commandes auprès des grossistes en dehors d'El Oued, situés dans d'autres wilayas ou il n'y a pas eu de crise et qui seront en mesure de leur accorder une prolongation des délais.

La majorité des firmes engage des représentants, généralement entre 1 jusqu'à 3 ingénieurs développeurs par firmes, pour fournir le conseil aux agriculteurs en diffusant l'information et l'innovation notamment de nouvelles variétés de semence, la conduite des cultures et des

nouveaux engrais chimiques, des équipements (en particulier le goutte à goutte), etc... Selon les représentants des firmes et distributeurs interviewés on compte près de 50 ingénieurs développeurs actifs à El Oued. Ces firmes ciblent les zones et les communes les plus productrices et généralement chaque ingénieur aura la charge de faire des visites et le suivi de 200 agriculteurs en moyenne dans sa zone de couverture. Cela lui permettra de développer des relations de confiance et d'accueillir des informations de bases sur ces agriculteurs : maladies répandues, capacités des agriculteurs, cultures dominantes et rendements...etc. Quant aux méthodes utilisées les plus fréquemment, les firmes mènent des tests et essais sur terrain, en partenariat avec l'agriculteur qu'ils jugent « leaders » dans sa zone. Ces leaders sont généralement très appréciés par les autres agriculteurs. Ceux-ci coopèrent et suivent le conseil fourni, en lui offrant une ou deux unités gratuites de ce nouveau produit introduit. La parcelle d'un tel agriculteur peut servir vers la fin de la saison comme site de démonstration pour le regroupement des agriculteurs et l'animation d'une journée technique. Aussi les supports écrits sont des outils que les firmes utilisent pour vulgariser leurs produits. En plus du développement des produits, le conseil permet aux firmes également d'accueillir des informations d'une importance capitale pour évaluer la demande et prévoir leurs nouvelles offres sur le marché. Ainsi une relation d'apprentissage et de construction de connaissance s'est développée progressivement entre les acteurs : agriculteurs, représentants de la firme et vendeurs. Cela a permis d'une part aux agriculteurs d'améliorer les rendements et d'autre part aux ingénieurs développeurs d'acquérir de l'expérience et d'échanger les informations avec d'autres ingénieurs représentant d'autres firmes et aux vendeurs de développer des relations et d'apprendre des stratégies commerciales et de marketing. Il s'agit à la fois d'expertise technique (connaissances agronomiques), sociale et commerciale (carnet d'adresses, connaissance des agriculteurs, relations de confiance avec fournisseurs). Après quelques années d'activité beaucoup de jeunes impliqués dans ce réseau visent à changer de statut et passer aux autres échelons. Dans notre échantillon nous avons ainsi deux jeunes ingénieurs développeurs qui sont devenu des détaillants relativement connus dans leurs zones ayant respectivement près de 200 et 300 clients-agriculteurs. Ils envisagent même d'étendre leur commerce et évoluer en grossistes-distributeurs. D'autres ingénieurs visent de faire de même. Parmi ceux qui sont actuellement grossistes-distributeurs, certains souhaitent réaliser l'import des intrants et exporter la pomme de terre si l'opportunité leur était présentée et si la tâche leur serait facilitée (notamment pas trop de barrières de bureaucratie et administratives).

III.5 Le nouveau système s'adapte et fait face à un nouveau défi du marché

La culture de la pomme de terre est économiquement risquée, compte tenu du capital engagé par hectare et la forte volatilité des prix du produit (Derderi et al., 2015). A oued Souf, la production en arrière-saison pendant l'hiver de cette culture permet aux agriculteurs d'arriver sur les marchés de gros sans concurrence avec les autres bassins de productions dans le nord du pays. Sauf que l'année de 2015 a coïncidé avec un hiver exceptionnel doux au nord, ce qui a permis aux producteurs du nord de concurrencer les Soufis sur les marchés. Le prix de pomme de terre a alors sensiblement chuté jusqu'à atteindre 10 DA/kg : *'le prix de vente sur le marché a chuté à un point que nous arrivions à peine à couvrir les charges de la récolte, du transport et de l'électricité, sans parler des dettes accumulées auprès des grainetiers et fabricants des pivots. Ces derniers nous ne permettent plus d'acheter en crédit, en tout cas pas avant que les dettes ne soient liquidées''* selon le témoignage d'un agriculteur (35 ans, 20 ha).

L'impact de cette crise varie selon le type et profils d'agriculteurs et sans doute les plus touchés sont ceux qui se sont spécialisés dans la pomme de terre avec un système monocultural avec plus d'une vingtaine de pivots. Dans ces grandes exploitations monoculturelle spécialisées, certains ont pu atteindre plus de 30 millions DA de bénéfice nette dans les bonnes années coïncidant avec les meilleurs prix de vente (comme en 2013 : 70 - 80 DA/Kg). En revanche, du fait de l'importance de la superficie en monoculture, la gestion de l'exploitation devient de plus en plus compliquée et ce nouveau système pivot/pomme de terre a fait preuve de fragilité et dysfonctionnement lors de la crise de 2015. Semer des superficies desservies par 20 pivots nécessite plus 800 q de semence. De telles quantités de semences ne sont pas toujours faciles à obtenir, il faut faire des commandes auprès d'un grainetier, d'un transporteur revendeur ou s'abonner chez un multiplicateur du nord. Un retard dans la livraison conduira l'agriculteur à semer tardivement (parfois après mi-septembre) et donc ne lui permet pas de récolter au moment voulu (à partir mi-décembre, période durant laquelle le prix en 2015 était à 30 DA/kg). A cela s'ajoute la récolte qui peut prendre parfois plus d'un mois pour ces 20 pivots, donc ce système est plus exposé à des périodes de chutes considérables du prix de pomme de terre sur le marché. Compte tenu de l'important capital investi dans plus de 20 pivots de pomme de terre, les entrepreneurs ayant abandonné leurs anciennes activités, les familles **F1, F2, F5 et F6** ont été parmi les agriculteurs ayant subi d'énormes pertes durant la campagne 2015/2016. Leurs chiffres donnent le vertige ; pour certains ces pertes sont montées jusqu'à 13 millions DA en arrière et pleine saison.

Ceci a conduit les agriculteurs de la génération pivot en début de campagne de 2016/2017 d'adopter des nouvelles stratégies, en particulier la mise en place des cultures et activités alternatives pour le réajustement de leur système défaillant. La dynamique des entrepreneurs agricoles a été remarquable et l'hybridation des deux modèles d'agriculture dans les exploitations s'est accentuée encore plus. Les principales pratiques observées dans les exploitations et pour chaque type agriculteur sont illustrées à travers le tableau 13 et la figure 40. Dans cette illustration, nous n'avons pris en considération que les nouvelles pratiques parvenues après la crise, durant la campagne 2016/2017. Par exemple, la pratique d'un fils de fellah, qui produit continuellement la semence de pomme de terre, ne va pas être prise en compte, pour lui, comme nouvelle pratique. En revanche, le fils d'éleveur qui a repris l'élevage ovin après la crise, après avoir vendu le troupeau hérité dans le passé pour installer ou faire des extensions en pivots de pomme de terre, est considéré comme ayant mise en place de nouvelles pratiques. Enfin, l'analyse de l'ensemble de ces pratiques observées dans les exploitations agricoles a permis l'extraction des stratégies agraires de post-crise et de reprise adoptées pour chaque type d'agriculteur pour faire face au défi du marché. La figure 40, en relation avec le tableau 13, illustrent ces principales pratiques et stratégies. La désignation de chacune des abréviations dans le tableau 13 est comme suit : * NIE : non issus d'exploitation agricole *F : fellah *FFI : fils de fellah indépendant et en rupture avec l'exploitation familiale *FFEF : fils de fellah en lien avec l'exploitation familiale *FEEF : fils d'éleveur en lien avec l'exploitation agricole familiale *FNEE : fils de nomade en lien avec l'exploitation agricole familiale.

III.5.1 Les stratégies agraires adaptées

III.5.2 Continuité avec l'ancienne stratégie et sans éventuelles manœuvres

Les sept exploitations concernées appartiennent à des anciens fellahs conduisant un modèle familial en lien avec le traditionnel (dont 3 fils travaillent dans d'autres secteurs hors agriculture et participent au financement de l'exploitation). Cette continuité par rapport à l'ancienne stratégie, par les fellahs, peut d'abord être expliquée par la robustesse de leurs bonnes pratiques ayant permis de maintenir un bilan positif en 2015 : diversité de sources de revenus et diversité de systèmes de culture, un assolement-rotation, la pratique de la jachère, la réduction du coût de revient par un amendement organique fréquent plutôt que l'apport excessif en engrais chimiques, aussi par l'autoproduction d'intrants (semence et engrais). Cette dernière pratique leur a permis aussi la production et la vente avancée de la pomme de

terre. Par exemple, 5 exploitations ont pu récolter durant la première quinzaine du mois de décembre quand le prix était encore à 30 DA/kg.

Cependant, cette continuité de leur stratégie qu'on peut appeler « paysanne » est aussi liée à la logique de ces agriculteurs. Il s'agit d'abord de leur attitude quant à l'usage de pivot. Ils sont parmi les premiers à avoir introduit le pivot et même la pomme de terre durant les années 1990. Pour eux, le pivot s'adapte à diverses cultures (dont la pomme de terre), facilite la tâche (économise le temps et la main d'œuvre par rapport au système séguia) et permet donc d'accomplir les autres tâches de l'ensemble des membres de la famille. Par exemple : effectuer le labour chez d'autres agriculteurs, l'entretien et la plantation du palmier, etc. L'utilisation du pivot permet aussi aux fils de mener leurs activités hors agriculture et ne pas trop assister son père. Le pivot a permis de combiner productivité d'une part et attachement et extension progressive de l'ancien système d'autre part, ainsi qu'une complémentarité entre les composantes du modèle. Par exemple, les gains générés par pivot/maraichage a permis de reconstituer progressivement une palmeraie irriguée en goutte à goutte et de produire des cultures fourragères, sous pivot artisanal, servant comme aliment de bétail.

Ces exploitants visent aussi à limiter les risques par cette diversification de productions et sources de revenus. En outre, les projets ne sont pas fondés sur l'endettement et le crédit mais sont conçus selon les moyens dont ils disposent. Néanmoins cette aversion au risque peut ralentir la dynamique, la motivation et l'engagement des jeunes dans l'agriculture. Par exemple dans trois exploitations les fils des fellahs sont occupés par d'autres activités (hors agriculture), et participent parfois au financement de l'exploitation. En revanche, ces derniers posent aussi la question de la relève après le décès du père : *'nos financements aboutissent à un essentiel objectif (servir notre père) tout en admettant que dans certains cas l'exploitation finance nos autres projets également. Aujourd'hui, chacun de nous a fondé un foyer et a des enfants. Qui sera en mesure de prendre le risque, de sacrifier son activité, son temps pour assurer la relève ? En ce moment, on n'ose pas aborder le sujet devant notre père.'* (Selon le témoignage d'un fils de fellah, 47 ans).

Tableau 13: Principales pratiques adaptées par les agriculteurs après la crise des marchés en 2015/2016.

Identifiant	pratiques	Nombre et type d'agriculteurs
1	Production de PDT l'arrière-saison et réduction durant la saison	15 (6 NIE, 6 FFI, 3 FEEF)
2	Réduction des superficies PDT durant l'arrière-saison	8 (2 NIE, 3 FFI, 1 FEEF, 2 FFEF)
3	Réduction d'engrais chimiques	10 (3 NIE, 2 FFI, 4 FEEF, 1 FFEF)
4	Autoproduction de semence de PDT pendant la saison	4 (1 NIE, 2 FFI, 1 FNEF)
5	Augmentation de la diversité de maraichage ou arachide et assolement sous pivot	8 (1 NIE, 4 FFI, 1 FNEF, 2 FFEF)
6	Superficie goutte à goutte destinée pour la production de tomate	2 (1 FFI, 1 FNEF)
7	Reprise ou intégration d'élevage	5 (3 FEEF, 2 FNEF)
8	Production de cultures fourragères sous pivot comme aliment de bétails	2 FEEF
9	Construction d'une petite meunerie artisanale et production aliment de bétails	2 FEEF
10	Reprise de l'ancienne activité hors agriculture	5 (3 NIE, 2 FFI)
11	Même stratégie sans aucun changement	6 (4 F, 2 FFEF)
12	Sortie de l'agriculture	2 NIE
13	Répartition de la vente de la récolte sur deux périodes (un quota vendu en début décembre, stockage du reste et vente fin mars)	2 FEEF
14	Faire appel à un associé pour le financement	2 (1 NIE, 1 FFI)

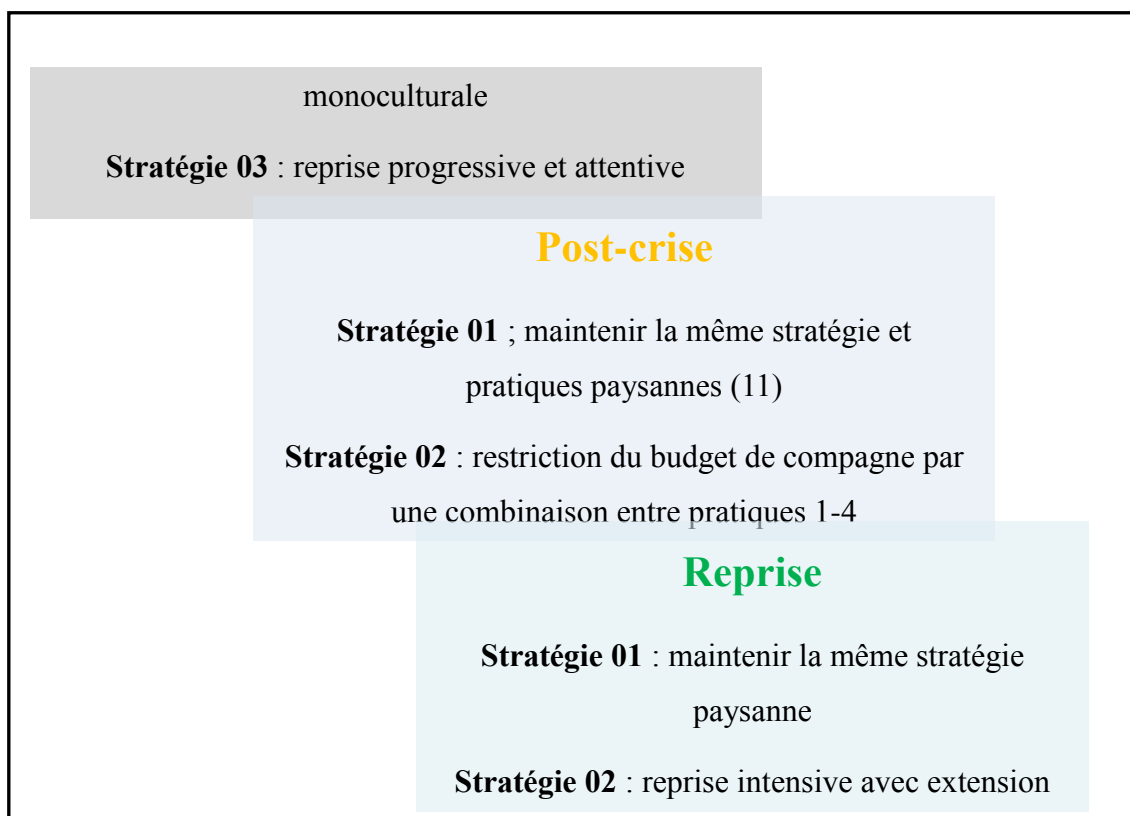


Figure 40: Stratégies adaptées en post-crise et reprise.

↳ *Des stratégies de restriction du capital investi qui sont assez répandues, et d'autres plus spécifiques pour compenser le déficit*

Les pratiques illustrées ici sont parvenues après la crise. Cependant, précisons à cet égard que ces dernières existaient déjà, et bien avant 2015, dans d'autres exploitations, même si elles n'étaient pas aussi répandues dans la zone. Nous essayons de démontrer, à travers notre échantillon, comment certains entrepreneurs agricoles se sont inspirés des expériences que nous qualifions de paysannes déjà existantes dans la zone pour intégrer (parfois même combiner) des pratiques traditionnelles et entrepreneuriales, pour faire face au défi du marché et suite à un mauvais exercice (comme celui de 2015).

Les plus remarquables stratégies sont celles que partagent toutes les catégories d'entrepreneurs (issus et non issus d'exploitation agricole, exploitation familiale ou individuelle). En effet, plus de 25 agriculteurs ont réduit leur budget de campagne suite aux pertes due à la chute des prix de la pomme de terre. A ce propos, trois options peuvent être envisagées ; (i) maintenir le même capital investi par pivot (500 000 DA) pour avoir les

rendements habituels et par conséquent réduire les superficies de pomme de terre (parfois de plus de 50%, la moitié des pivots ne sera donc pas cultivé en pomme de terre)

(ii) semer l'ensemble des pivots en pomme de terre tout en réduisant le capital investi par pivot, notamment la réduction dans l'apport d'engrais chimiques (2 au lieu 4q/pivot) et organiques (de 80 à moins de 40 q/pivot), et (iii) la production de semences durant la saison pour réduire les charges. La combinaison de plusieurs options peut être aussi envisagée. Par exemple dans quatre exploitations les agriculteurs ont procédé à la réduction de la superficie et de l'apport des engrais chimiques et organiques, dans deux exploitations les 3 options ont été adoptées. Quant aux raisons avancées à ce propos c'est la situation financière qui a fait défaut mais c'est aussi à cause des grainetiers ayant limité l'accès aux intrants sous forme de crédit.

Ces stratégies servant à la restriction du capital investi s'accompagnent souvent d'autres stratégies qui permettent de compenser le déficit et limiter les risques. Certains se sont orientés vers le domaine qu'ils le maîtrisent le plus. Par exemple, huit fils de fellahs ont procédé à des assolements en rotation notamment avec l'ail, l'oignon, et les arachides. Cinq fils d'éleveurs ou nomades ont repris l'élevage ovin après avoir vendu dans le passé le troupeau hérité pour investir dans la pomme de terre. Cinq autres agriculteurs (issus ou pas de l'exploitation) ont repris leurs anciennes activités hors agriculture.

Parfois l'entrepreneur agricole d'El Oued tente aussi de nouvelles choses. Par exemple, deux agriculteurs non issus de l'exploitation ont tenté pour la première fois de reproduire leur propre semence de pomme de terre et mise en culture deux pivots en ail et oignon. Deux fils d'éleveurs ont produit des cultures fourragères et ont mis en place une petite meunerie artisanale pour la production d'aliments de bétails dont une partie sera vendue aux autres éleveurs. Et deux agriculteurs ont réparti la vente de leur production sur deux périodes dont ils estiment qu'elles vont coïncider avec de bons prix sur le marché. L'entrepreneur agricole à El Oued peut aussi combiner : cinq agriculteurs ont combiné entre plus de 3 nouvelles stratégies (élevage, production de semence, culture fourragères ...).

III.5.3 L'entrepreneur agricole d'El Oued et la prise du risque, quel principal apprentissage de la crise ?

Dans son travail de fond sur l'innovation et l'entrepreneuriat dans le domaine de la production industrielle, Schumpeter (1934) souligne que l'entrepreneuriat est souvent lié à la capacité de l'entrepreneur à prendre des risques, à innover et à apprendre par essais et erreurs (Petit et al.,

2017). A El Oued, la très grosse prise de risque pour investir dans le système pivot/pomme de terre a conduit deux agriculteurs parmi notre échantillon (non issus d'exploitation et n'ayant aucune expérience dans l'agriculture) vers la sortie de cette activité.

Leur investissement extrêmement risqué a coïncidé avec l'année de chute des prix sur le marché en 2015. Il s'agit d'un pharmacien et d'un commerçant ayant loué respectivement de 2 et 6 pivots au milieu de l'erg dans des zones non raccordé au réseau électrique. Ils ont dû donc dépenser, en plus des frais de location, environ 1 000 DA de frais de gasoil (par jour et par pivot), acheter les engrais chimiques sans subvention (ils ne possèdent pas de carte fellah), de louer quotidiennement un véhicule 4x4 pour transporter les fûts de gasoil et recruter des ouvriers qui leur assurent le suivi de l'exploitation. La récolte a coïncidé avec des prix de 10-13 DA/kg sur les marchés de gros, ce qui leur a fait subir d'énormes pertes : respectivement 400 000 et 1,5 million de DA.

Contrairement à la campagne de 2015/2016, la campagne de 2016/2017 a coïncidé avec de bons prix de pomme de terre sur le marché (60-70 DA/kg) mais aussi une augmentation des prix de l'ail sur le marché jusqu'à 1800 Da/kg et de la tomate jusqu'à 80 DA/kg. Nous avons repris l'enquête avec les 35 agriculteurs durant le mois de septembre 2017. Les deux jeunes, dont on a parlé plus haut, n'ont pas repris et ne visent à jamais refaire l'expérience. En revanche, la majorité des autres agriculteurs producteurs interviewés a déclaré être arrivés à régler leurs dettes auprès des grainetiers et fabricants des pivots avant le début de la nouvelle campagne (2017/2018).

La majorité des grainetiers interviewés a confirmé également, lors de l'enquête, être arrivée à recouvrir plus de 80 % des créances induites par la crise. Ils ont également autorisé les agriculteurs ayant payé leurs dettes d'accéder du nouveau au crédit. Cette amélioration de la situation (par rapport au 2015/2016) semble conduire progressivement l'entrepreneur d'El Oued vers la reprise de son système :

- (i) 12 agriculteurs sur 35 ont commandé puis ont installé de nouveaux pivots (au crédit) ; six exploitations sont en monoculture (pomme de terre sous anciens et nouveaux pivots installés), dans les six autres les agriculteurs ont consacré deux pivots (parmi les anciens) pour d'autres cultures (dans deux exploitations deux pivots pour l'ail, dans deux autres un pivot également pour des cultures fourragères et deux agriculteurs ont laissé un hectare pour la tomate en goutte à goutte). Cependant, le reste des pivots dans ces six exploitations sont en pomme de

terre, notamment les nouveaux pivots compte tenu des nouvelles terres fertiles qui peuvent produire plus de 400 q/pivot

- (ii) 11 sur 35 agriculteurs ont repris la mise en culture de la totalité de leurs pivots mais sans faire de nouvelles extensions. Cinq agriculteurs ont consacré deux pivots pour l'ail et le reste des pivots en pomme de terre, deux parmi eux prévoient également de laisser 1 ha en goutte à goutte pour la tomate, alors que les six autres exploitations sont en monoculture (pomme de terre sous la totalité des pivots). Les 23 exploitations (i et ii) se rapprochent dans la quasi-dominance des superficies consacrées à la pomme de terre et dans la reprise des doses habituelles en engrais chimiques et organiques (fiente de volaille notamment).
- (iii) deux sur 35 agriculteurs ont fait l'exception. Ils ont mis en culture un seul pivot de pomme de terre et la raison qu'ils ont avancé : *'on veut reprendre le souffle, après le payement des dettes'*.
- (iv) les sept exploitations des fellahs (y compris celles où leurs fils travaillent dans d'autres secteurs) continuent avec la même stratégie (diversification, plantation de palmiers,...).
- (v) un agriculteur nous n'avons pas pu le recontacter.

Cependant, pour diminuer les risques, quelques stratégies adaptatives semblent être maintenues : *'reprendre mais avec un plan de secours au cas où'* (selon un agriculteur). D'abord la diversification de cultures est maintenue dans ces exploitations, malgré le fait qu'elle soit moins importante que l'année dernière, mais les agriculteurs continuent à produire l'ail, l'oignon et la tomate. Aussi, pour certains d'entre eux, les gains générés par la campagne de 2016/2017 ont permis le payement des dettes et la mise en culture des pivots existants. Cependant, il y a désormais d'autres projets qui passent en priorité bien avant les extensions, qui peuvent être reportées pour l'année d'après. Par exemple, les six agriculteurs ayant repris leurs anciens commerces ou métiers ont consacré une partie du capital réalisé pour faire marcher ces activités. Deux autres jeunes visent plutôt à avancer dans les travaux de la construction de leurs maisons pour se marier. Un autre a acheté un véhicule 4x4 dans le but de procurer d'autres revenus notamment en transportant la pomme de terre des autres producteurs. Et même si les fils d'éleveurs ont repris le système productiviste et intensif de la pomme de terre, ils continuent avec l'élevage et la production de culture fourragères (dont 2 produisent et vendent encore l'aliment de bétail avec la meunerie artisanale).

III.6 Conclusion

Nous avons montré le passage progressif d'une agriculture ancestrale, en crise (déséquilibre du milieu physique par des actes anthropiques ainsi qu'une restructuration d'une chaîne d'approvisionnement déficitaire et dépassée), vers une agriculture entrepreneuriale portée par des acteurs locaux (agriculteurs, commerçants, artisans, intermédiaires,...) qui font face à des nouveaux défis (barrières administratives, socioculturelles, risque du marché,...). Cette agriculture résulte aussi d'une politique agricole, visant la modernisation et la sécurité alimentaire et ayant rencontré sur le terrain des initiatives privées d'une jeune génération dynamique et innovante. Des cas similaires sont aussi observés sur d'autres territoires. Des études récentes au Maghreb et en Afrique Sub-Saharienne montrent comment une nouvelle génération de jeunes hommes et femmes ruraux sont de plus en plus attirés par les opportunités de l'agriculture d'entreprise (Sumberg et al., 2012 ; Amichi et al., 2015 ; Petit et al., 2018). Les trajectoires et pratiques analysées dans notre cas d'étude montrent l'attractivité pour des jeunes agriculteurs du mode de production entrepreneurial, fortement adossé au marché, et tel que définie Petit et al. (2018). Sur la base des caractéristiques identifiées par Schumpeter (1934), suivi des travaux de Wenekers and Thurik (1999) et de Van der Ploeg (2008), l'entrepreneur agricole peut être défini comme un acteur, présent sur le terrain, lié aux marchés (terre, main-d'œuvre, agriculture intrants, etc.) et capable d'innover ou d'utiliser l'innovation pour créer la richesse dans un marché concurrentiel. Afin d'illustrer nos principales conclusions tirées du présent chapitre et montrer comment l'émergence des pivots artisanaux a-t-il accompagné la mise en place d'une petite agriculture entrepreneuriale centrée autour de la production de pomme de terre et ainsi contribué au remodelage agricole, nous essaierons de répondre à certains questionnements, notamment ; *Qu'est-ce qu'un entrepreneur agricole ? A qui profite son agriculture ? Est-elle durable ?*

Les principaux renseignements que nous tirons de l'analyse de ces observations faites auprès de 35 exploitations c'est l'antagonisme entre deux générations appartenant au même territoire, ayant induit différentes logiques et pratiques. Parfois il s'agit d'une même génération et au sein d'une même exploitation, mais les attentes ne sont pas les mêmes quant à l'usage du pivot artisanal ou encore le retour vers les activités ancestrales. Par exemple les hérités d'un fellah (ayant une différence d'âge, parfois plus de 20 ans) et leurs attitudes envers l'investissement en maraîchage. Les plus âgés, ont généralement une autre activité, visent à amoindrir le risque et l'assistance dans l'exploitation ainsi qu'une continuité avec l'agriculture ancestrale i.e. renouvellement ou plantation d'un verger de palmier à partir du

bénéfice générer par le maraichage. Alors que les plus jeunes se consacrent à l'agriculture et visent plutôt l'extension en maraichage notamment en pivot/pomme de terre. Au-delà de ces cas spécifiques, l'hybridation entre pratiques paysannes et entrepreneuriales dans ces 35 exploitations est très remarquable et la porosité entre modèles en continuité et en rupture avec le système traditionnel, est omniprésente et à différents degrés. Qu'il soit orienté vers un modèle en continuité ou en rupture avec le système traditionnel, l'engagement de l'entrepreneur agricole à El Oued s'inscrit dans une logique d'évolution et il a toujours des objectifs qu'il veut atteindre. Il s'agit dans la plupart des cas d'un jeune célibataire masculin qui vise à se marier en obtenant un pactole de l'agriculture maraîchère. Il peut s'agir d'un jeune ayant pratiqué d'autres activités économiques (dans le commerce, dans l'industrie du pétrole ou sur des chantiers en tant qu'ouvrier etc.), d'un jeune fils d'un *fellah* dont le système de *ghout* a été fragilisé par la remontée de la nappe ou encore d'un autre fils de fellah soucieux de reconstruire une exploitation agricole diversifiée. Cette relation entre objectifs personnels de l'agriculteur et pratiques entrepreneuriales est démontré également dans de nombreux travaux de recherche, notamment par Singh et al. (2013) qui ont mené une analyse critique sur les agro-entrepreneurs et les agriculteurs traditionnels dans l'état de l'Uttar Pradesh en Inde, ainsi que par Sutherland (2010) qui a travaillé sur un échantillon d'exploitations agricoles en Europe de l'Est (Bulgarie et Sud de Russie) et qui a mise en avant la forte influence des objectifs intrinsèques sociaux et personnels (tel que le plaisir de produire, le désir d'être indépendant ou encore pour s'imposer dans l'exploitation, les affaires commerciales) sur la longévité et la réussite de l'agriculture.

L'entrepreneur d'El Oued est dynamique et peut changer de stratégie, tout au long de son trajet : la recherche autonomie ou le retour vers l'exploitation familiale, la diversité culturelle ou la monoculture, le maintien/réintroduction de l'élevage ou pas, le sens du flux du financement (de l'agriculture vers d'autres activités économiques ou le sens inverse), l'extension de l'exploitation ou pas, l'intensification agricole ou minimisation de l'apport d'engrais, etc. Selon les contraintes internes ou externes qu'il rencontre (par exemple, l'orientation de l'exploitation déterminée par son père opposé à l'agriculture entrepreneuriale, la crise suite au chute des prix sur le marché,..) et les opportunités qui lui sont proposées (par exemple, le décès de son père plus réservé quant à cette agriculture entrepreneuriale, le grainetier et le fabricant de pivot qui lui permettent l'accès au crédit, un bénéficiaire du programme de mise en valeur qui vend la terre avec de bons prix, des aviculteurs et multiplicateurs du nord qui lui assurant la livraison de semence et fiente de volaille, ...), il

choisit dans la panoplie de stratégies adoptées dans la région celle qui lui semble la plus opportune. Cet ajustement de stratégies par rapport aux contraintes et opportunités représente, pour Singh et al. (2013), un élément crucial pour la réussite de l'agriculture entrepreneuriale *‘‘Un agriculteur qui souhaite devenir un entrepreneur agricole prospère doit identifier les opportunités du marché appropriées, gérer les ressources existantes afin de prendre des risques’’*. Un jeune entrepreneur agricole peut quitter partiellement l'exploitation agricole familiale, utiliser initialement ses engins pour procurer des revenus et mettre en place son propre modèle entrepreneurial dans sa propre exploitation agricole. A contrario, il peut aussi s'inspirer du modèle de ses aînés pour réajuster le sien en cas de défaillance, parfois même retourné temporairement à l'exploitation familiale. Ces stratégies de post crise, en particulier le retour temporaire vers l'exploitation familiale, ne se font pas toujours de manière gracieuse et s'accompagnent souvent de leçons de morale. Il doit rester également lié à ces aînés pour leur donner un coup de main ou parfois même pour financer leurs projets quand les recettes générées le permettent lors des moments de reprise.

L'entrepreneur agricole a participé activement à la création de la nouvelle dynamique agraire dans le Souf, à travers son système horticole. Par conséquent, cela a permis de concurrencer les producteurs du nord sur le marché et donc d'accumuler assez de capital pour la reconstitution de leurs palmeraies de ses aînés affectées par la remontée de la nappe. Il utilise l'innovation endogène incrémentielle du pivot artisanal, jugé souple et à prix raisonnable, pour produire. Il bénéficie des conseils, de service après-vente et de réparations et de facilités de paiement proposés par les experts locaux. En retour, son exploitation a servi comme champ expérimental pour continuellement améliorer le dispositif hydraulique. La forte demande pour les pivots a permis par la suite à un réseau dense composé d'artisans et commerçants de constituer une filière spécialisée dans l'importation, la collecte, le recyclage et l'assemblage des pièces et composants. Nous validons donc l'hypothèse de Marc Côte (2006) : la dynamique agraire et le développement du pivot artisanal vont de pair et se stimulent mutuellement.

En ce qui concerne les artisans, l'apprenti d'hier est devenu aujourd'hui un fabricant en série très connus dans sa zone, et le pionnier tente même d'exporter son produit au-delà des frontières du pays. L'entrepreneur agricole s'appuie sur des arrangements très denses mais informels pour s'approvisionner en intrants, accéder aux crédits, bénéficier du conseil et vendre sa production. En contrepartie, la filière a permis le recrutement et la formation des jeunes diplômés dans plus de 20 firmes d'agrofournitures, attirée par la dynamique, et ces

dernières augmentent continuellement leurs profits compte tenu de la forte demande en la matière. Ces jeunes diplômés constituent progressivement un carnet d'adresses, acquièrent des compétences techniques et apprennent des techniques de marketing pour lancer leurs petits projets de vente en détail et ensuite graduer les échelons pour devenir grossiste-distributeur. D'autres jeunes non diplômés sont devenus des entrepreneurs spécialisés dans la collecte de main d'oeuvre et chargés de chantiers agricoles ou encore des transporteurs et courtiers. Aussi, les multiplicateurs de semences et aviculteurs du nord du pays ont élargi leurs portefeuilles clients. L'entrepreneur agricole peut sortir temporairement ou/et partiellement de l'agriculture pour procurer des revenus dans d'autres secteurs. Cependant, comme l'indique Petit et al. (2018), dans le cas d'une sortie (parfois temporaire ou partielle) des jeunes du secteur agricole, les expériences accumulées par les travailleurs peuvent également renforcer les logiques entrepreneuriales dans le mode de production en agriculture, après leur retour.

En outre, l'Etat s'est engagé pour promouvoir le secteur agricole à travers ses divers programmes d'appui techniques et la mise en valeur. Cependant, l'entrepreneur d'El Oued sélectionne et retient ce qui répond à ses intérêts : les essais des variétés pomme de terre, l'APFA hors périmètre, l'extension pivot au lieu de la plantation du palmier, la subvention sur les engrais chimiques, etc. Cette sélection et ces choix, dans notre cas d'étude, correspondent et de façon générique au constat réalisé par Akrich et al (1988) sur l'évaluation d'une innovation *''elle est toute entière entre les mains des utilisateurs : elle dépend de leurs attentes, de leurs intérêts et des problèmes qu'ils se posent''*. Par ailleurs, l'entrepreneur agricole d'El Oued s'installe à proximité des villes et dans des zones de concentrations pour être proche des infrastructures de base, de la maison parentale, des services de l'agriculture, de santé et d'approvisionnement, des pistes agricoles et accès goudronné, des zones couvertes par le réseau de téléphonie mobile, d'internet et lignes électriques.

Néanmoins, son implication dans l'agriculture peut être extrêmement risquée, comme nous avons montré, en particulier par rapport à la volatilité des prix sur le marché. Il y a aussi d'autres risques. Il peut par exemple s'aventurer au milieu de l'erg et franchir quotidiennement des kilomètres de dunes pour transporter le gasoil. Aussi, l'implication des jeunes dans un système productiviste, intensif et monoculturel pour maximiser les profits, très répandue dans la région, se fait au détriment des ressources naturelles (surexploitation de l'eau et pollution des sols et des eaux) et de leur santé (en particulier, à travers l'application des produits de synthèse sans protection). A ce propos, des récentes études (voir Okali et

Sumberg 2012 et Petit et al., 2017) ont mis en avant le caractère instrumental d'une telle agriculture spécialisée, notamment la forte implication, mais à courte durée, des jeunes pour augmenter rapidement leurs profits et gagner de l'autonomie. Il serait intéressant, à ce titre, de suivre les jeunes agriculteurs que nous avons enquêté sur une durée plus longue. Okali et Sumberg, (2012), par exemple, sont revenus dix ans après la première enquête, montrant que la plupart des jeunes avait quitté la production intensive de tomates. De l'autre côté, d'autres jeunes ne sont au contraire pas intéressés par cette agriculture entrepreneuriale. Paradoxalement, ce sont ces jeunes, souvent des diplômés qui sont visés par les programmes de mise en valeur de l'état. Mais ceux-ci ne visent pas un avenir dans l'agriculture et revendent informellement ces terres. Il y a aussi les fils de fellah, héritiers de grandes palmeraies et ayant lancé une carrière hors agriculture, ou des entrepreneurs commerciaux ou fonctionnaires salariés, qui considèrent l'exploitation comme un lieu de détente ou encore un lieu nostalgique. L'Etat doit rester attentif quant à ses engagements pour promouvoir le développement agricole, vis-à-vis de ces deux cas extrêmes. En revanche nous trouvons dans notre cas d'étude des jeunes ayant commencé leurs carrières comme ouvriers et qui sont aujourd'hui producteur (locataires ou propriétaires), même s'ils ont un nombre de pivots moins important que les autres agriculteurs ayant plus de moyens. Cette jeunesse, intéressée par l'agriculture, est souvent *"invisible pour l'Etat"* (Petit et al., 2017). Elle utilise l'innovation, produit et contribue à la sécurisation alimentaire du pays. Ceci rejoint ce que démontre Singh et al. (2013) *"Contrairement à la croyance commune la caste, la taille de l'exploitation et l'âge des agriculteurs ne sont pas nécessairement des contraintes majeures pour le succès de l'agro-entrepreneuriat. Les agriculteurs jeunes et moins éduqués peuvent également devenir entrepreneur à condition d'être clairement informés sur le bon type d'innovations et sur leurs utilisations"*. Enfin, l'Etat doit réguler la dynamique sans altérer les relations informelles basées sur la confiance et l'initiative locale. Nous avons observé d'intéressantes stratégies adaptatives qu'emploie l'entrepreneur d'El Oued pour pallier au risque du marché notamment la diversification des cultures, l'assolement en rotation, l'autoproduction d'aliment de bétail par pivot et meunerie artisanales, etc. Ces expériences et pratiques, souvent inspirées de l'agriculture paysanne, doivent être accompagnées et encouragées afin de valoriser l'initiative locale ainsi que sa contribution dans le développement agricole plus durable. Ceci peut être concrétisé véritablement à travers une symbiose de l'ensemble des acteurs (étatique et privé) afin de promouvoir cette dynamique et la développer dans toute sa sphère technique, sociale et économique

[**Chapitre 4** : Une innovation incrémentielle : la conception et la diffusion d'un pivot artisanal dans le Souf (Sahara Algérien)³]

³ Ce chapitre a été publié sous forme d'article dans la revue Cahiers Agricultures :

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: 35005.

IV. CHAPITRE IV: UNE INNOVATION INCREMENTIELLE : LA CONCEPTION ET LA DIFFUSION D'UN PIVOT D'IRRIGATION ARTISANAL DANS LE SOUF (SAHARA ALGERIEN).

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

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: 35005.

Selon Schumpeter (1911), une innovation est une «*invention qui a réussi, ou qui a rencontré des utilisateurs* ». L'adoption des innovations ne peut avoir lieu sans réunir les facteurs susceptibles d'enrôler les acteurs par la création d'un environnement sociotechnique approprié (Akrich et al., 1988). Ces Acteurs s'approprient à leur manière des systèmes techniques, qui évoluent par rapport aux systèmes établis par les concepteurs (Benouniche et al., 2011). A travers ce chapitre nous allons montrer comment une communauté locale, dans le Souf a pu reprendre un modèle agrobusiness, ayant rencontré de nombreux échecs comme dans d'autre région Saharienne, et l'adapter progressivement au contexte technico-socio-économique local. Les difficultés rencontrées dans la réalisation et l'entretien des rigoles de séguia pour irriguer le maraichage, cultures alternatives pour palier à la crise hydraulique des Ghouts, ont motivé les acteurs locaux à l'appropriation du modèle importé. En analysant le processus d'innovation, nous allons démontrer que le succès du pivot artisanal dans le Souf tire son origine de sa capacité à susciter l'adhésion de nombreux alliés de l'innovation (utilisateurs, fabricants, intermédiaires...) à travers un réseau socioprofessionnel dense (Akrich et al., 1988). En fin, ce modèle endogène, co-conçus, attire des nouveaux investisseurs-entrepreneurs, non issus d'exploitation agricole, à mobiliser une partie de leur capital pour investir dans le système pivot/pomme de terre en colonisant des nouveaux espaces en marge des anciens palmeraies.

IV.1 Introduction

L'émergence de bassins de production de cultures maraichères « primeur » dans le Sahara Algérien a été rendue possible par des conditions climatiques favorables, des ressources suffisantes en terre et en eau souterraine, une importante main d'œuvre agricole et une demande croissante des marchés nationaux (Dubost, 1998). A côté du palmier dattier (et notamment la variété commerciale *Deglet nour*) en pleine expansion, la tomate et le poivron sous serre à Biskra, le melon et la pastèque à Ouargla, la tomate à Adrar sont devenus des cultures emblématiques du Sahara depuis une vingtaine d'années. Le département d'El Oued est ainsi devenu le premier producteur de pomme de terre dans le pays et a produit 1,08 millions de tonnes de pomme de terre en 2014, soit 35 % de la production nationale pour un montant estimé à 360 millions €.

Le développement horticole d'El Oued s'est opéré dans un contexte de déclin du système hydraulique traditionnel appelé « Ghout » propre à la région. Les Ghouts sont des cuvettes artificielles creusées par l'homme, dans lesquelles les palmiers sont plantés par groupe de 20 à 100 et alimentées par la nappe phréatique. Le développement du pompage privé et étatique dans les nappes profondes, pour répondre aux besoins de la population en eau potable, a conduit à une suralimentation de la nappe phréatique, en absence d'un système de drainage. Dès 1980, une remontée progressive et persistante de la nappe phréatique est observée à El Oued et les premiers palmiers sont morts par asphyxie. En 2004, 231 540 palmiers sur un total de 742 525 étaient morts asphyxiés dans la vallée du Souf (Côte, 2006).

L'émergence et l'extension de la pomme de terre dans la région d'El Oued sont étroitement associées à la diffusion de la technique d'irrigation par pivot. Cette technique, originaire des Etats-Unis d'Amérique, a été développée par des grands programmes étatiques à partir des années 1970/1980 au Moyen Orient et en Afrique du Nord (Bisson, 2003). L'ambition était d'impulser une agriculture qui se voulait moderne, en particulier la céréaliculture pour couvrir les besoins alimentaires de ces pays. Cependant, la diffusion de ces grands pivots a rencontré de nombreux échecs, y compris en Algérie, pour des raisons technique, agronomique et socio-économique (Otmane et Kouzmine, 2013). Ainsi, au cours des années 1980, la région d'Oued Souf était concernée par un grand programme étatique céréalier sous pivots. Ces pivots avaient une longueur de 350-400 m et pouvaient irriguer des superficies de 39 à 50 ha. La technologie était coûteuse et non adaptée aux ambitions et capacités techniques des agriculteurs. Cependant, ce programme a inspiré des artisans locaux dans les années 1990 à concevoir un pivot artisanal de taille plus modeste avec une longueur de 25 à 50 m pour

irriguer des cultures maraîchères sur des parcelles de 0.5 à 1 ha, en particulier la pomme de terre. Il s'en est suivi une extension rapide de la superficie de la pomme de terre dans cette région. L'objectif de l'article est d'analyser le processus d'innovation incrémentale ayant permis l'adaptation du modèle du pivot importé. Cette analyse permet de saisir les raisons de l'attractivité du pivot artisanal utilisé aujourd'hui sur des milliers d'hectares pour l'irrigation de pomme de terre, la deuxième culture stratégique du pays après les céréales.

Nous faisons l'hypothèse que le succès du pivot artisanal dans le Souf tire son origine de sa capacité à susciter l'adhésion de nombreux alliés de l'innovation (utilisateurs, fabricants, intermédiaires...) à travers un réseau socioprofessionnel dense (Akrich et al., 1988). L'analyse par les systèmes d'innovation permet de comprendre comment une multitude d'acteurs interagissent, échangent des informations, des connaissances et développent, diffusent et utilisent les innovations (Edquist, 2005 ; Ortiz et al., 2013). L'adoption des innovations ne peut avoir lieu sans réunir les facteurs susceptibles d'enrôler les acteurs par la création d'un environnement sociotechnique approprié (Akrich et al., 1988 ; Benouniche et al., 2014). Pour le secteur de l'agriculture, de nombreux auteurs ont montré que les acteurs conventionnels, tels que services de l'agriculture et de la vulgarisation, ne sont pas les seuls acteurs de l'innovation (Benouniche et al., 2016). Des agriculteurs, des intermédiaires, des artisans et des commerçants qu'ils agissent de façon individuelle ou collective peuvent contribuer à réécrire « la grammaire de l'innovation », faire évoluer les connaissances et même les objectifs des processus d'innovation (Knickel et al., 2009).

IV.2 Zone d'étude et méthodologie

La région d'Oued Souf fait partie du département d'El-Oued situé dans le Sud Est Algérien (Figure 41). Elle relève du Sahara septentrional et du grand erg oriental, couvert par une chaîne de dunes sableuses. Elle se caractérise par un climat hyper aride, une température moyenne annuelle de l'ordre de 22°C et des précipitations moyennes annuelles de 78 mm (ONM, 2012). La région dispose d'une réserve hydrique souterraine importante constituée de trois aquifères : un aquifère libre et deux aquifères captifs, le complexe terminal et le continental intercalaire.

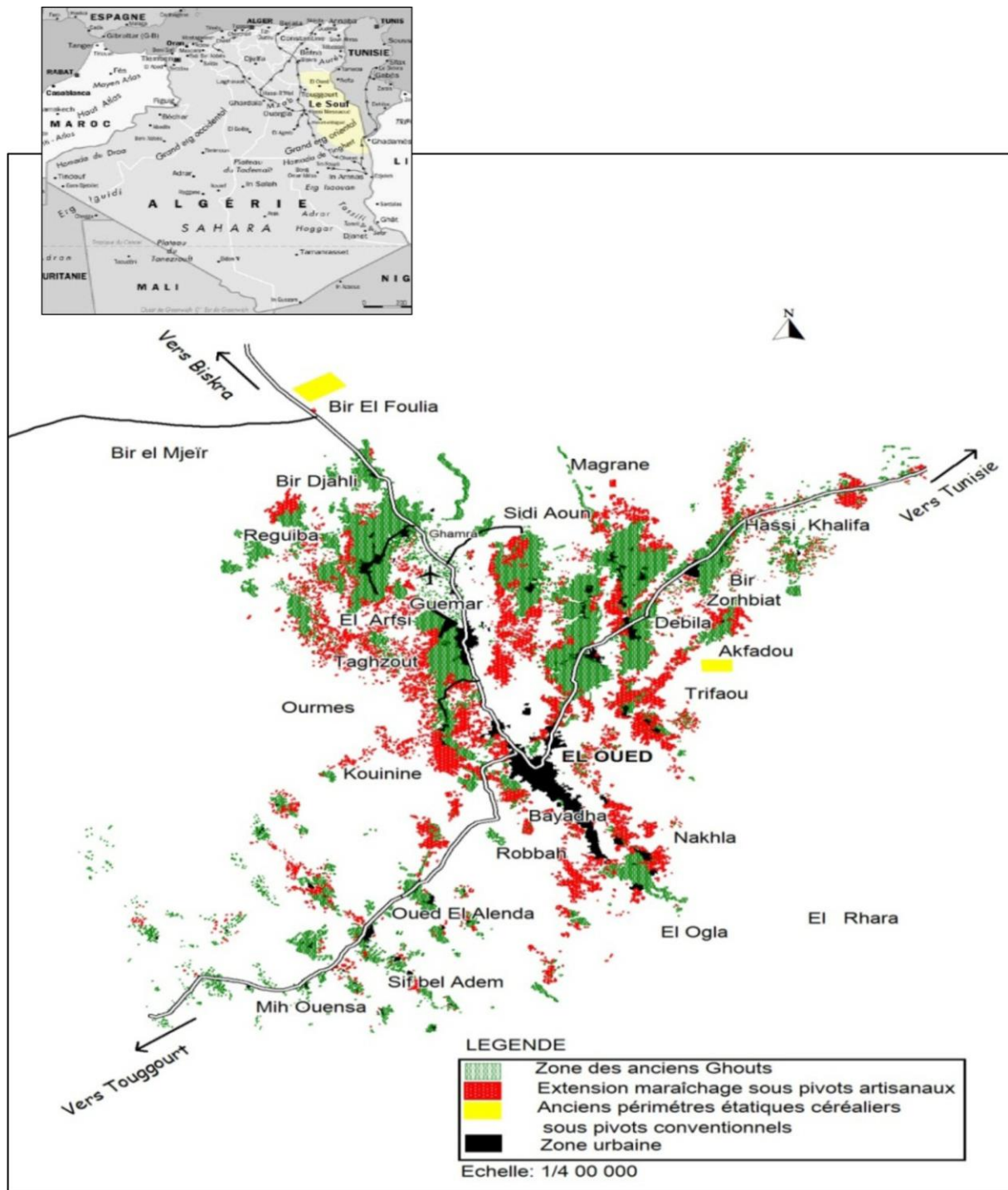


Figure 41: Présentation de la vallée d'Oued Souf : localisation et occupation du sol (adapté à partir de la carte d'occupation des sols INSID, 2011).

La région connaît depuis 2000 une importante dynamique agricole illustrée par le développement de la filière pomme de terre. Cette culture est irriguée par des pivots « artisanaux », conçus et fabriqués localement, pour une surface moyenne irriguée d'un hectare. Les superficies concernées sont passées de 801 ha en 2000 à 35 000 ha en 2013, ce

qui représente environ 35 000 pivots installés en moins de quinze ans, selon les statistiques du ministère de l'agriculture.

Trois communes ont été retenues pour cette étude, sur la base des données collectées auprès des services locaux et d'entretiens semi directifs réalisés avec 4 cadres administratifs :

- Les communes de Guemar et Reguiba constituent des territoires où les premiers pivots artisanaux furent fabriqués et adaptés progressivement aux réalités socio-économiques de la région.
- La commune de Hassi Khalifa est actuellement leader de la filière pomme de terre sous pivots ; environ 25 % de la production du département d'El Oued y est concentrée. Les superficies emblavées dans la commune sont passées de 125 ha en 2004 à 8 000 ha en 2013 pour une production totale de 269 364 tonnes sur un total de 1 172 500 tonnes pour l'ensemble du département.

Des entretiens avec 4 conseillers salariés des firmes d'agrofournitures nous ont permis de repérer les sites de production de la pomme de terre et des pivots artisanaux à investiguer. Nous avons mené des enquêtes auprès de 24 agriculteurs utilisant des pivots artisanaux dans la commune de Hassi Khalifa. Ces exploitations ont été choisies parmi les utilisateurs des pivots artisanaux et ce, selon trois catégories - grands investisseurs, petits investisseurs et *fellahs* (cultivateurs) - pour représenter les différentes stratégies d'utilisation du pivot artisanal notamment le nombre des pivots installés et les systèmes de culture pratiqués (tableau 15). Les observations effectuées dans ces 24 exploitations ont permis de décortiquer les différents composants du pivot artisanal et de suivre les flux de ses composants, tout en recensant les différents acteurs impliqués. A cela s'ajoutent des entretiens semi directifs auprès de 10 artisans locaux dans les deux communes Guemar et Reguiba, qui constituent encore aujourd'hui un centre artisanal de fabrication très importante dans la zone. Ces artisans sont impliqués dans l'approvisionnement en pièces détachées ou composants de base, la fabrication des composants, l'assemblage et le montage des pivots artisanaux. Enfin, nous avons réalisé des entretiens auprès de 4 commerçants chargés de la distribution et des ventes des équipements et pièces importées composant les pivots artisanaux.

IV.3 Résultats

IV.3.1 Co-conception du pivot artisanal : un processus d'innovation à partir des pivots conventionnels

Vers la fin des années 1980 et avec le déclin des Ghouts, les agriculteurs du Souf étaient à la recherche de systèmes de production alternatifs. Ils se sont orientés progressivement vers les cultures maraîchères et industrielles, principalement les arachides irriguées à la raie en mobilisant un réseau de séguias (rigoles d'amenée) revêtues de plâtre pour éviter les pertes en eau. Cependant, les agriculteurs rencontraient des difficultés dans la réalisation et l'entretien des séguias, car cela nécessitait beaucoup de main d'œuvre non seulement pour la construction du réseau de séguia et leur revêtement mais aussi pour l'évacuation continue du sable hors des rigoles. Ces difficultés rencontrées ont motivé le fils d'un *fellah* (cultivateur) de Ghamra dans la commune de Guemar, un jeune lycéen de 21 ans passionné d'électromécanique, à envisager des alternatives. Inspiré par un pivot conventionnel en panne du programme étatique céréalière se trouvant au village Bir El Foulia (commune de Reguiba), ce jeune s'est intéressé à la conception d'un pivot de plus petite taille. En 1994, il a procédé à une prospection auprès des ferrailleurs et artisans locaux pour trouver des compétences nécessaires, notamment un soudeur et un tourneur, deux artisans expérimentés de son voisinage qui sont devenus ses associés. Ils ont dressé une liste des pièces et matériaux nécessaires et la réalisation a été entamée dès leur acquisition. Six mois plus tard, le premier modèle du pivot (le modèle asymétrique à minuterie ; tableau 14) était entièrement fabriqué par cet innovateur. Celui-ci commençait à recevoir des commandes de ses voisins agriculteurs. Au début de 1996, les premiers pivots ont été vendus à des agriculteurs de Ghamra. Les agriculteurs des communes Guemar et Reguiba, après avoir observé et apprécié ce premier modèle du pivot artisanal, ont commencé à se rapprocher des artisans locaux (soudeurs, tourneurs et mécaniciens) pour les inciter à en fabriquer d'autres selon les mêmes principes.

« Pour ces agriculteurs, une solution miracle venait d'apparaître pour investir dans le maraichage après la crise des Ghouts due à la remontée des nappes. D'un côté, il mettait fin aux difficultés d'entretien de la séguia et permettait de réduire les coûts de main d'œuvre. De l'autre côté, ce pivot artisanal n'exigeait pas d'être démonté à chaque fin de campagne d'irrigation contrairement au système d'aspersion classique que l'Etat voulait développer dans le Souf » (un fellah de Ghamra, 60 ans, 8 ha).

Des soudeurs des deux communes Guemar et Reguiba ont commencé à leur tour à apporter des adaptations au pivot. Selon l'innovateur, la mise au point du premier modèle commercialisé, asymétrique à minuterie, a permis le partage de l'idée et a ouvert la voie à d'autres artisans pour éliminer les multiples inconvénients qu'il présentait (tableau 14), notamment :

- Des pannes fréquentes du réducteur de vitesse ; à chaque fois il fallait remplacer certaines pièces des pivots installés, en particulier les volants de moteurs, pièces peu disponibles ;
- Des difficultés liées à la fixation de la rampe au moyen des fils en acier ;
- Des problèmes de l'enroulement du câble électrique sur la rampe ainsi que sur l'ensemble du pivot ; à chaque irrigation il fallait le dérouler.

En 1996 un deuxième concepteur dans la commune de Guemar (soudeur, 45 ans), ayant bénéficié d'une formation en mécanique en Allemagne, a présenté un nouveau modèle de pivot symétrique avec deux rampes de 25 m chacune, appelé « modèle éventail » (figure 42 ; tableau 14). Ce nouveau modèle fonctionne et se déplace par pression hydraulique. Son alimentation en eau se fait par connexion directe au puits à l'aide d'une pompe qui propulse l'eau dans les deux rampes et assure la rotation. Les premiers fabricants, qui étaient les concepteurs pionniers de Guemar et Reguiba, ont commercialisé ce modèle tout en essayant d'améliorer le modèle asymétrique de Ghamra en levant les contraintes citées précédemment (tableau 14). C'est ainsi que le pivot artisanal a connu une adaptation continue et une amélioration progressive, avant d'être plus largement diffusé et commercialisé, depuis l'an 2000, sous sa forme actuelle (figure 43).

IV.3.2 Fabrication du pivot artisanal : une innovation incrémentale grâce à un réseau dense et organisé d'alliés

La fabrication et la diffusion des pivots artisanaux sont subordonnées à une diversité d'acteurs dont l'enchaînement des interventions constitue un réseau dense de prestation de services et de fourniture (figure 44). Nous avons identifié trois étapes dans la fabrication et montage de pivots : i) acquisition des pièces par l'importation ou la récupération de pièces détachées sur des équipements obsolètes, ii) fabrication de certains composants dans les ateliers locaux, et iii) montage du pivot sur l'exploitation agricole et service après-vente (figure 44).

Des commerçants privés importateurs alimentent les grossistes du marché d'El Oued en composants industriels venant de Chine : organes d'arrosage, tubes galvanisés, moteurs

électriques et réducteurs de vitesse. Ces équipements sont ensuite distribués au détail par des quincaillers.

Tableau 14: Modèles de pivots artisanaux développés par l'innovation incrémentale.

Modèle	Date de conception	Innovations	Problèmes rencontrés
Pivot asymétrique à minuterie	1995	Introduction de la motorisation ; démarrage programmé par minuterie locale d'une minute sur cinq	Périodicité de fonctionnement très lente pour mener des irrigations
Pivot asymétrique aux volants moteurs	1995	Amélioration du système de minuterie par succession des volants moteurs	Pannes des volants moteurs ; mauvaise fixation en fils d'acier ; enroulement du câble électrique
Pivot symétrique « Eventail »	1996	Rotation par pression hydraulique ; modèle symétrique	Superficie irriguée réduite ; blocage rotation rampe en conditions ventées
Pivot asymétrique à réducteur de vitesse	1998	Réducteur de vitesse à vis ; traverse de fixation par tubes galvanisés	Enroulement du câble électrique
Pivot asymétrique "Reguiba"	1998	Système de roulement jouant le rôle du collecteur circulaire ou à bague du pivot conventionnel	Masses électriques
Pivot asymétrique "Guemar"	1999	Système à tambour jouant le rôle du collecteur circulaire ou à bague du pivot conventionnel	/



Figure 42: Modèle du pivot symétrique « éventail ».

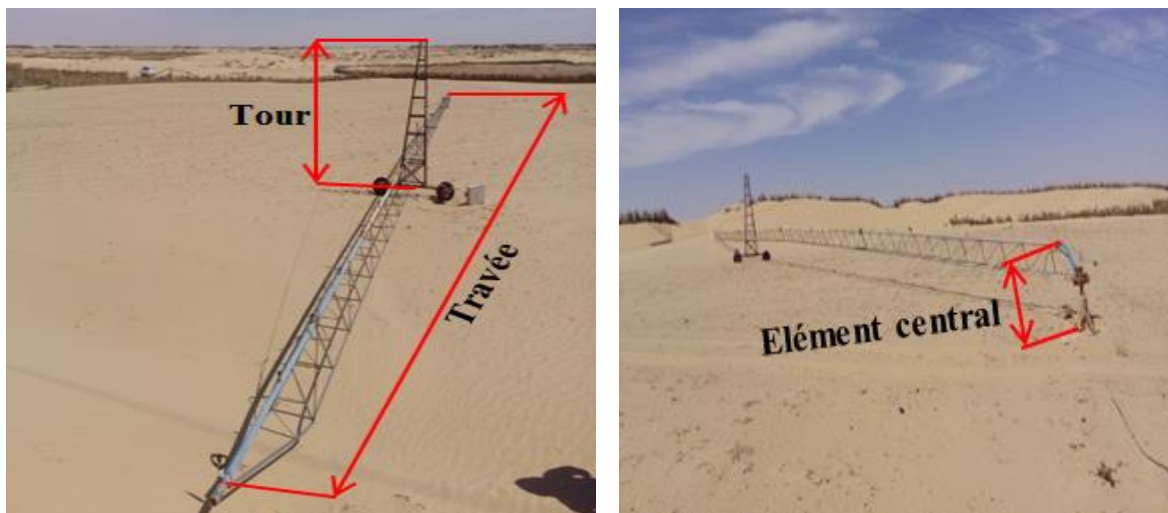


Figure 43: Composantes du pivot artisanal.

La vente des épaves de voitures constitue la deuxième source de composants pour les fabricants des pivots. Il s'agit de l'ensemble des composants assurant le déplacement des pivots, notamment les roues et leurs pièces porteuses ainsi que les roulements. Ces pièces sont achetées dans les casses automobiles et auprès des vulcanisateurs. Ensuite, les artisans fabriquent dans leurs ateliers les composants qu'il est impossible d'acheter dans les filières précédentes. Les tourneurs produisent ainsi un modèle local de réducteurs de vitesse, un « réducteur à vis », qui est plus utilisé que le modèle industriel importé de Chine, en raison de son coût et sa grande disponibilité dans le Souf. Ils produisent aussi des poulies assurant la transmission entre le moteur et le réducteur de vitesse. Les fabricants assembleurs, appelés localement « soudeurs », sont considérés comme des acteurs centraux qui sont en lien avec l'ensemble des intervenants : ils reçoivent les commandes des agriculteurs et se procurent les composants et matériaux nécessaires auprès des commerçants et artisans (tourneurs). Les ateliers des fabricants assembleurs ressemblent à des véritables entreprises : ils engagent des ouvriers permanents et des saisonniers en plus des stagiaires des centres de formation professionnelle. Les tâches affectées pour la fabrication sont réparties selon un ordre précis : un ouvrier est chargé de l'ensemble des travées élémentaires de 12 m, un second s'occupe des tourelles plus châssis et un autre se charge des éléments centraux.

Après finalisation de l'ensemble des parties composant le pivot, l'agriculteur est contacté pour les transporter jusqu'à sa parcelle. Les fabricants assembleurs s'y déplacent ensuite pour le montage et la mise en route du pivot. Une garantie de fonctionnement couvrant une saison de production de pomme de terre est accordée aux agriculteurs, avec la prise en charge gratuite de la première réparation. Ces arrangements se font sur la base de la confiance et sans contrat

écrit. La vente des pivots se fait parfois à crédit pour les agriculteurs n'ayant pas l'argent nécessaire pour payer comptant. Lorsque le recouvrement des créances tarde, le soudeur se trouve dans l'obligation d'acheter lui aussi les matériaux de fabrication à crédit. Enfin un électricien assure l'installation de l'armoire de commande électrique et son raccordement au moteur du pivot.

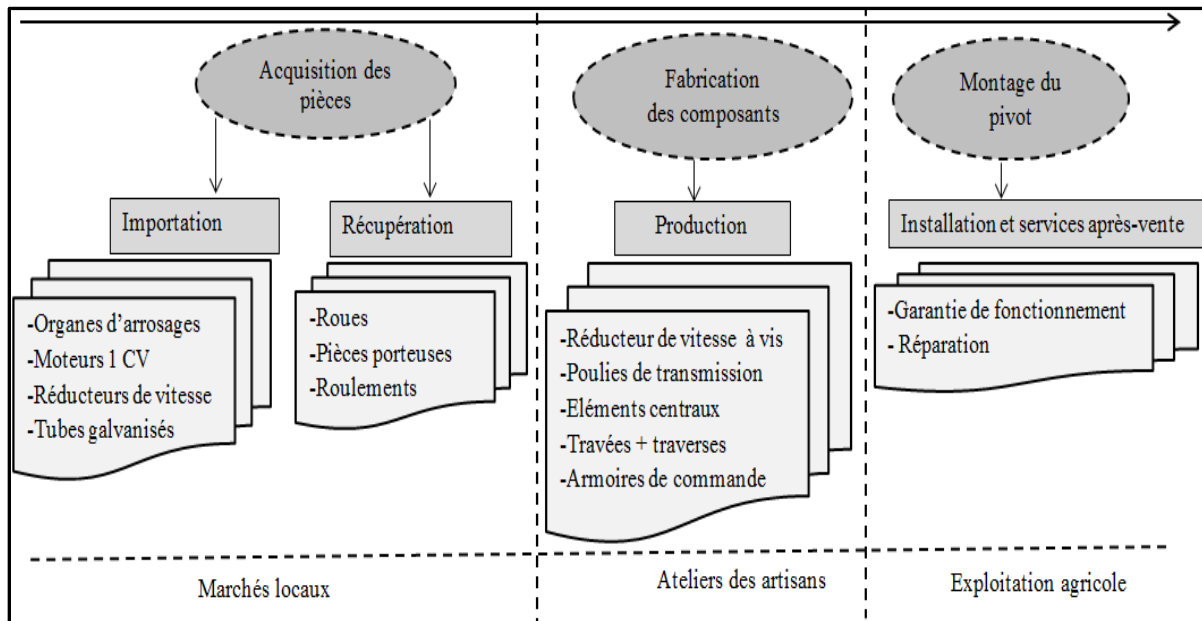


Figure 44: Réseau de fourniture et prestation de service.

Aujourd'hui, la filière « pivot artisanal » constitue à elle seule une chaîne de production. Son évolution a permis le développement de petites entreprises de fabrication d'équipement d'irrigation, de réduire quelque peu le taux de chômage et de former sur le plan pratique des jeunes issus des centres de formation professionnelle. L'extension de cette filière offre aussi une opportunité de vente des équipements aux importateurs et aux grossistes, ainsi que le recyclage des pièces vendues chez les vulgarisateurs et les casses automobiles.

IV.3.3 Diffusion du pivot et colonisation de nouveaux espaces agricoles

La pomme de terre a été introduite par les services agricoles d'El Oued au début des années 1990. Les agriculteurs y ont adhéré en raison des bons rendements régulièrement obtenus (30 à 40 tonnes par hectare). De plus, du fait de conditions climatiques clémentes en hiver, ils pouvaient produire en arrière-saison durant les mois de décembre et de janvier et vendre sur les marchés de gros sans concurrence avec les principaux bassins de production situés dans le nord du pays (Benmihoub, 2015). Les agriculteurs ont commencé à irriguer par séguia ou par aspersion classique sur de faibles superficies. L'apparition des pivots artisanaux en plus grand nombre au début des années 2000 a permis l'extension des superficies de pomme de terre,

grâce à leur disponibilité, leur maniabilité et leur coût relativement abordable. Une surface d'environ un hectare peut être irriguée par un seul pivot artisanal dont le prix d'achat est de 1000 €. Par comparaison, l'équipement d'un hectare de goutte à goutte coûte environ 2000 € et un kit d'aspersion assurant une couverture intégrale d'un hectare coûte entre 2000 € et 5000 € en fonction de la qualité de l'équipement choisi. Ces deux derniers systèmes exigent d'être enlevés lors du travail du sol et lors de la récolte pour permettre l'accès des engins contrairement au pivot artisanal qui peut être laissé sur place. La parfaite adéquation du système d'irrigation du pivot artisanal avec la production de la pomme de terre dans la région s'est traduite par l'extension des superficies cultivées.

Ce processus d'innovation et le développement de la culture de la pomme de terre ont attiré de nombreux investisseurs pour conduire une agriculture entrepreneuriale fortement adossée aux marchés nationaux et très exigeante en capital financier. Les exploitations des investisseurs sont spécialisées dans la culture de pomme de terre, le bénéfice réalisé sera réinvesti dans l'extension en pomme de terre. L'intérêt de l'association « pivot artisanal / pomme de terre » réside notamment dans le fait que l'investisseur peut progressivement mettre en place plusieurs pivots pour ainsi étendre la superficie cultivée selon ses capacités d'investissement et le risque qu'il peut encourir. La plupart des producteurs de notre échantillon (17 sur 24) sont des investisseurs sans attache rurale directe dans le passé et issus d'autres secteurs économiques. Ils ont intégré le secteur de la production agricole après l'apparition du système pivot/pomme de terre dans le Souf (tableau 15). Nous distinguons deux types de nouveaux investisseurs :

- (i) Les grands investisseurs (9 agriculteurs sur 24 enquêtés) ont procédé à l'achat des terres, à la réalisation des puits et à l'installation de plus d'une dizaine de pivots avec leurs propres moyens. Certains sont originaires d'El Oued mais n'y résident pas. Ils investissent une partie de leur capital pour couvrir les différents frais d'équipement et de fonctionnement de l'exploitation. Ils engagent des métayers qui vont gérer ces équipements et conduire les cultures. Ces métayers recrutent à leur tour un ou deux ouvriers permanents plus des ouvriers journaliers, occasionnellement, durant le semis et récolte. D'autres, résidant à El Oued, optent pour le mode de faire valoir direct et emploient également un ou deux ouvriers permanents ainsi que des ouvriers journaliers pour les périodes des grands travaux.

(ii) Les petits investisseurs (8 agriculteurs sur 24 enquêtés), possèdent entre 2 et 6 pivots. Ce sont surtout des jeunes producteurs. Ils ont moins de 35 ans et la plupart d'entre eux sont des fonctionnaires et de petits commerçants ayant des revenus limités. Par manque de capital foncier ou financier, ils louent des parcelles équipées en puits et pivots artisanaux et font appel à des associés pour l'acquisition des intrants et le recouvrement des frais de main d'œuvre journalière et d'électricité. Ces jeunes contribuent ainsi par la production de la culture de pomme de terre à l'essor de l'agriculture locale aux côtés d'autres jeunes concernés par l'importation des pièces et d'équipements, leur assemblage et la commercialisation des pivots artisanaux.

7 agriculteurs de notre échantillon se considèrent comme *fellahs*, c'est à dire des agriculteurs anciennement installés. À l'inverse des nouveaux investisseurs cette catégorie d'agriculteurs possède un plus petit nombre de pivots artisanaux (2 à 4 pivots) pour conduire un système maraicher diversifié (pomme de terre, ail, oignon, arachide, ainsi que d'autres légumineuses). Ils sont propriétaires et évitent la monoculture pour le renouvellement de leur système agro-écologique et la préservation de la fertilité du sol. La production est destinée à l'autoconsommation et le reste au marché et ainsi, le bénéfice réalisé sera investi dans un système maraicher diversifié.

Cette nouvelle dynamique a permis non seulement de procurer des revenus aux populations locales par la création d'emplois dans les exploitations agricoles, mais a aussi encouragé le retour des grands entrepreneurs et commerçants originaires d'El Oued qui vivaient et menaient des activités non -agricoles au nord du pays. Cependant, cette dynamique est fondée sur l'utilisation d'une eau souterraine peu renouvelable, elle repose souvent sur des pratiques agricoles peu respectueuses de l'environnement et elle s'insère dans des marchés agricoles volatiles.

Tableau 15: Caractéristique de l'échantillon des agriculteurs enquêtés.

Types d'agriculteurs		Statut de l'agriculteur		Mode de faire valoir			Nombre de pivots installés
		Propriétaire	Locataire	Faire valoir direct	Métayage	Association	
Nouveaux investisseurs	Grands investisseurs	9	/	3	6	/	>10
	Petits investisseurs	5	3	3	2	3	<10
Fellah (cultivateurs)		7	/	7	/	/	<10

En effet, la totalité des agriculteurs enquêtés accèdent à l'eau souterraine à travers des puits individuels et généralement chaque puits permet d'alimenter un couple de pivots dont le fonctionnement se fait en alternance (jour et nuit). Le nombre des puits équipés en groupe motopompe est passé de 4 200 en 1992 à 10 600 en 2004 (Côte, 2006) et aurait fortement augmenté depuis selon les services agricoles. Certains agriculteurs pratiquent des rotations culturales ; 11 agriculteurs seulement sur les 24 interviewés cultivaient, en plus de la pomme terre, de l'arachide, de l'ail et de l'oignon. Ainsi, 13 agriculteurs ont opté pour la monoculture (pomme de terre en arrière-saison et en pleine saison). Cette dernière catégorie de producteurs rencontre généralement des chutes rapides des rendements pouvant atteindre 50% au bout de trois années (15 à 20 tonnes/ha au lieu les 30 à 40 tonnes/ha initiaux). La monoculture de la pomme de terre est une prise de risque considérable à cause de la volatilité des prix sur les marchés, qui constitue une source d'inquiétude pour tous les producteurs. Ainsi, les prix se sont effondrés en 2015/2016 sur le marché national à cause d'un climat exceptionnellement doux dans les bassins de production au nord, ce qui a conduit à ralentir la dynamique observée dans le Souf.

IV.4 Discussion et conclusion

L'analyse de l'émergence puis de la conception et de la diffusion du pivot artisanal dans le Souf par un réseau dense d'artisans et de commerçants en lien étroit avec des agriculteurs, a permis de comprendre le passage du modèle du grand pivot importé, promu par l'Etat, à un pivot artisanal peu coûteux et robuste, adapté aux choix culturels des producteurs et aux conditions difficiles du Sahara. Cette évolution correspond au constat fait par Akrich et al. (1988) dans d'autres situations et de façon générique : « *Adopter une innovation, c'est l'adapter ; elle a besoin d'être transformée, modifiée en fonction du site où elle est mise en œuvre* ». Stewart (2007) considère les experts locaux comme un élément important dans le processus d'adaptation des nouvelles technologies du fait de leur influence sur, et des interactions au quotidien avec, les utilisateurs potentiels de l'innovation. Considérant que « *la plupart des technologies impliquent la construction de répertoires collectifs et des référentiels de l'action et du sens* » (Sørensen, 2006), nous pouvons postuler qu'un processus collectif d'innovation du pivot artisanal a produit de nouvelles normes et attentes, qui ont influencé à leur tour la manière dont la technologie est utilisée, ainsi que les pratiques des parties prenantes et les apprentissages nécessaires pour arriver à ce stade d'appropriation. Les artisans et les agriculteurs du Souf ont fait preuve d'une capacité de dialogue continue avec des référentiels multiples pour concevoir un dispositif d'irrigation de plus petite taille qui

répond aux ambitions des agriculteurs. D'abord, des parcelles des agriculteurs utilisateurs ont servi comme champ d'expérimentation pour les innovateurs pionniers pour régler progressivement les difficultés rencontrées par ces utilisateurs. Ces derniers ont ensuite démontré, par leur pratique, la performance du pivot artisanal dans la production de pommes de terre pour faire deux saisons de pomme de terre par an avec des rendements pouvant atteindre 40 t/ha. Ceci a constitué une publicité grandeur nature attirant d'autres agriculteurs. Par la suite, et face à une demande croissante, ces artisans pionniers ont recruté et formé des ouvriers et des stagiaires des centres de formation. Ces artisans sont devenus, aujourd'hui, des fabricants connus dans la région que les agriculteurs consultent en cas de pannes. Les experts locaux sont aujourd'hui installés dans l'ensemble des zones de production, à proximité des utilisateurs avec lesquels ils continuent à interagir au quotidien.

Pour Sørensen (2006), l'adoption d'une technologie et les processus d'innovation centrés sur une question de production ou d'organisation interagissent avec leur environnement par un processus cognitif lié à l'apprentissage (Ameur et al., 2013). Dans notre cas, les artisans du Souf ont mis en œuvre un processus d'innovation incrémental à partir d'un pivot conventionnel importé où l'on a croisé savoirs et savoir-faire obtenus progressivement dans la pratique, et technologies et pièces détachées importées et récupérées chez les ferrailleurs. Cela a permis à ces experts locaux – artisans et commerçants – de constituer, chemin faisant, une base partagée de connaissances. Ces connaissances concernent le fonctionnement du pivot, mais aussi le « marché potentiel » de ce pivot. En effet, ces experts locaux connaissent bien les systèmes de production, les attentes et le comportement des différents agriculteurs avec lesquels ils interagissent fréquemment. Ils adaptent continuellement la conception de l'équipement d'irrigation et sa distribution : déplacement et montage sur place dans les exploitations agricoles, la production en série pour satisfaire la demande, les ventes à crédit, service après-vente et réparation. Dans le cas étudié, une entrée par le processus d'innovation a permis de décrypter un réseau dense et complexe constitué de commerçants et artisans qui interviennent à différents niveaux : importation et distribution des pièces et équipements, fabrication et assemblage des composants, montage, installation et mise en route des pivots artisanaux et service après-vente. L'analyse des réseaux sociotechniques associée à un suivi des pratiques et des récits d'acteurs a permis de « rendre visibles des relations sociales invisibles » (Cross et al., 2002) en soulignant la complexité des liens sociaux et la diversité des dynamiques sociotechniques intervenant dans le processus d'innovation (Mahdi, 1993 ; Bouzidi et al., 2011).

Cet article a mis en évidence la reprise d'un modèle agrobusiness (céréales sous pivots conventionnels) par des communautés locales, en fabriquant un pivot artisanal et en l'utilisant sur une nouvelle culture. Selon Otmane et Kouzmine (2013), cette dynamique se caractérise par le « *déploiement d'un système agricole technicisé et capitalistique visant la compétitivité et la rationalisation* ». Ce système agricole productiviste, qui s'est mis en place et étendu rapidement, combine intensification à base d'intrants chimiques, la monoculture pour des marchés peu sécurisés, utilisation d'une eau souterraine peu renouvelable et des arrangements sous forme de contrats agraires entre acteurs pour disposer d'un capital d'investissement et de la trésorerie pour le fonctionnement. De nombreuses questions restent en suspens, notamment l'impact de ce modèle de production sur les ressources naturelles (épuiement du sol et baisse des rendements, l'invasion des nématodes et la diffusion des phyto-pathogènes, la surexploitation et la pollution des eaux souterraines), les stratégies développées par les agriculteurs pour faire face à la volatilité des marchés agricoles⁴ et le rôle de l'Etat pour accompagner et réguler ces nouvelles dynamiques agricoles. Ces questions et nos résultats doivent amener les structures de recherche et de développement à prendre en considération ces processus d'innovation pour envisager de les accompagner sans altérer les dynamiques locales et les relations de confiance entre les acteurs locaux, porteurs et utilisateurs de l'innovation. Cet accompagnement peut concerner l'amélioration des systèmes de production pour atténuer une intensification monoculturelle, assurer une utilisation plus rationnelle de l'eau ainsi que l'intégration de ces innovations locales dans les programmes de subvention. En outre, il est impératif de diversifier la production et de réfléchir de façon stratégique à l'ensemble de la filière depuis la reproduction de semences et la production jusqu'au stockage, la transformation et la mise en marché afin de mieux équilibrer la production et les marchés. Ceci permettra une meilleure attractivité pour ces régions et le retour des investisseurs originaires des régions vers l'activité agricole pour participer à la satisfaction alimentaire et la diversification des sources de revenus bruts du pays.

⁴ Une analyse plus approfondie a été effectuée dans le précédent chapitre

[Chapitre 5 : Analyse de la performance d'irrigation d'un pivot artisanal]

V. CHAPITRE V : ANALYSE DE LA PERFORMANCE D'IRRIGATION DU PIVOT ARTISANAL

V.1 Introduction

Le pivot central est l'un des systèmes d'irrigation modernes utilisés en agriculture pour mieux valoriser les ressources en eau et la main d'œuvre particulièrement dans les régions arides pour irriguer de grandes cultures (Aït Houssa et al., 2009 ; M'sadek et al., 2012). Le principe de fonctionnement est original nécessitant un busage adapté (Molle et al., 1998). Beaucoup d'études, par exemple celles menées sur terrain dans les pays de Maghreb par Molle et al. (1998), Benouniche et al. (2014), M'sadek et al. (2012), M'sadek (2017), sur les différents techniques d'irrigation (notamment le goutte à goutte et aspersion par pivot et rampe frontale) montrent que l'ultra-perfection technologique, montrant d'excellentes efficacités en laboratoire, ne garantit pas forcément une bonne performance sur le terrain. Cette performance dépend des conditions d'utilisation et des logiques des utilisateurs (et elle évolue dans le temps selon l'usage de ces technologies, notamment l'état du matériel et les réglages et les adaptations menées sur terrain (Benouniche et al., 2014, Laib et al., 2018). Selon Akrich et al. (1988) l'innovation est toute entière entre les mains des utilisateurs : elle dépend de leurs attentes, de leurs intérêts et des problèmes qu'ils se posent : « *Adopter une innovation, c'est l'adapter ; elle a besoin d'être transformée, modifiée en fonction du site où elle est mise en œuvre* » (*ibid*). Dans ce travail, nous proposons d'étudier la performance hydraulique du pivot artisanal conçu localement en s'inspirant du modèle conventionnel importé. Nous avons émis l'hypothèse que la performance de l'innovation incrémentielle, utilisée à grande échelle, peut être améliorée en proposant des ajustements.

Pour ce faire nous avons mené dans un premier temps, en 2014, des entretiens auprès de 10 artisans fabricants et 24 agriculteurs utilisateurs du pivot artisanal, dans l'intérêt d'étudier leurs expériences et logiques vis-à-vis de la performance hydraulique du dispositif. Mais aussi dans l'objectif d'analyser, par la suite, l'influence de leurs pratiques de réglage et d'ajustement ainsi que le choix du modèle d'arroseur sur la performance hydraulique. Dans une seconde étape, nous avons réalisé, en 2015, une analyse de la performance *in situ* sur un pivot artisanal. Il s'agissait d'une première série de mesures, i.e. trois essais suivant la norme ISO 15545 destinée aux pivots d'irrigation. Enfin et dans l'objet de caractériser les « microdiffuseurs » utilisé sur le terrain, une deuxième et une troisième séries de mesures ont été menés, dans un laboratoire spécialisé, sur quelques arroseurs représentatifs. Il s'agit

précisément des essais de comportement débit-pression et pluviométrie suivant la norme ISO 15886. Le protocole de recherche est présenté dans le chapitre 2.

Il convient de mentionner ici que le but recherché à travers cette étude n'est pas d'obtenir l'optimum, ni d'aligner le pivot artisanal, obtenu par innovation incrémentielle comment analyse dans le chapitre 4, au conventionnel. Mais plutôt d'apporter, dans un premier temps, une visibilité aux agriculteurs et artisans ainsi qu'aux décideurs politiques sur la performance du pivot artisanal. En second, la recherche a été menée dans une perspective d'améliorer cette performance, de façon incrémentielle, par des ajustements 'simples et accessibles' que les agriculteurs et les artisans peuvent apporter dans les ateliers et sur champs et ce en maintenant la même conception et composants. Précisons que la cohérence de notre démarche ainsi que notre engagement envers cette innovation incrémentielle nous a guidé depuis le début de travail de cette thèse, i.e. en prenant au sérieux les initiatives locales et en prenant part au processus d'innovation d'un dispositif hydraulique endogène, incrémentiel et évolutif. Et ce en l'analysant et en essayant de proposer des voies d'amélioration au lieu de s'orienter vers l'analyse du modèle conventionnel importé non adapté au contexte technico-socio-économique de la région.

L'originalité de ce travail est que d'une part, il rejoint les anciens travaux dans la nécessité des approches multidisciplinaires pour apporter une analyse à partir de données de terrain, sur la performance d'irrigation (van Schilfgaarde, 1994 ; Tanji et Keyes, 2002 ; van der Kooij et al., 2013 ; Benouniche et al., 2013). D'autre part, il ouvre le débat à travers l'exemple du pivot artisanal, sur notre troisième question spécifique dans cette thèse : Comment évaluer un dispositif hydraulique conçu par des acteurs locaux pour améliorer les performances d'irrigation ? Ce chapitre se veut donc d'abord d'une portée méthodologique. Mais il a également pour ambition de contribuer à concevoir et instrumenter une démarche d'ingénierie venant en appui aux dispositifs d'irrigation locaux pour répondre à notre objectif principal. Enfin, nous souhaitons à travers cette démarche contribuer à un débat plus large sur le développement de l'agriculture irriguée. Ce débat ouvrira des nouvelles perspectives d'accompagnement agricole, notamment des politiques plus proches de la réalité de terrain, en intégrant les dispositifs hydrauliques locaux.

Les résultats du présent chapitre seront présentés suivant trois étapes. Nous allons d'abord analyser la performance hydraulique *in situ* sur la base des trois essais menés sous un pivot de 50 m. Ce pivot sera évalué en relation avec les résultats des entretiens réalisés avec 24 agriculteurs et 10 artisans fabricants du pivot artisanal. Ceci va justifier l'apport de la

caractérisation des organes d'arrosages dans le laboratoire spécialisé de l'INSID. Les résultats de ces essais seront présentés puis interprétés dans une deuxième section. Ensuite une troisième section sera consacrée aux voies d'amélioration de la performance en employant les résultats de ces essais menés au laboratoire pour élaborer un support de simulation sur Excel. Les performances simulées et *in situ* seront comparées pour argumenter et montrer l'intérêt de ce travail. Nous terminerons par une conclusion pour synthétiser les résultats et les perspectives attendues.

V.2 Adaptation et mise au point du plan de busage au niveau des ateliers :

Les travaux de Molle et al. (1998) ; M'sadek (2012) et M'sadek (2017), menés sur le pivot conventionnel, confirment l'importance de l'adaptation d'un plan de busage approprié suivant les caractéristiques de la machine. A cet effet, dans l'intérêt de mieux comprendre la performance hydraulique du pivot artisanal nous allons analyser les résultats des mesures *in situ* en lien avec les pratiques de réglage sur terrain qui influencent le plan de busage. Par conséquent, sur la base de nos entretiens réalisés auprès de 10 artisans, nous allons d'abord retracer le trajet d'adaptation du plan de busage depuis la conception au niveau des ateliers jusqu'au choix des organes d'arrosages sur le marché.

i- L'adaptation de la conception du pivot au niveau des ateliers par les artisans : le cas de l'écartement des microdiffuseurs

Il s'agit des écartements, appliqués lors de la fabrication, entre les sorties destinées à recevoir les organes d'arrosages. Comme illustré dans la figure 45, la rampe comporte 19 sorties, l'écartement commence avec 3.6 m et diminue progressivement avec un pas de 10 cm pour atteindre 2.1 m à la 16^{ème} sortie. A partir de cette dernière, le pas de 10 cm n'est plus appliqué au niveau des trois derniers arroseurs. Les écartements se réduisent respectivement à 1.2, 0.8 et 1.5 m. Ceci n'est pas élaboré sur la base d'un dimensionnement préalable ou selon le plan du constructeur comme dans le cas du conventionnel mais plutôt adapté en se référant aux expériences et observations de terrain. Il convient de préciser à ce propos que, comme le montre la figure 46, la propriété du sable, en particulier sa couleur claire, permettait aux artisans de distinguer le taux de recouvrement de la pluviométrie lors du fonctionnement du pivot tel que l'explique l'innovateur : « *initialement nous avons mis 5 sorties pour le montage de 5 arroseurs (1 arroseur tous les 10 m) ; la couleur claire du sable nous a permis de suivre les traces de la surface mouillée. En se plaçant dans l'axe du pivot par exemple cela permettait de visualiser toute cette surface mouillée. Même avec une ouverture maximale des buses des arroseurs on distinguait des intervalles non mouillés. Ceci nous a ramené, dans une*

seconde phase, à réduire à moitié l'écartement (1 arroseurs chaque 5 m, 10 arroseurs en tout). Malgré cela il y avait des intervalles non mouillés, ceux de l'extrémité étaient plus étendus. Ceci nous a permis de conclure que l'écartement doit diminuer progressivement du centre à l'extrémité. Raison pour laquelle, dans la troisième étape, nous avons essayé l'écartement de 4 m dans la première sortie et nous avons réduit cet écartement avec un pas de 10 cm jusqu'à atteindre les 45 m (où se trouve la sortie d'emplacement du 16^{ème} arroseur). Cependant, dans les 5 derniers mètres où il n'y avait qu'un seul arroseur initialement nous avons renforcé avec deux autres (3 en tout) pour éliminer les plus grands intervalles non mouillés sous le pivot » (Artisan-innovateur du pivot, 52an).



Figure 45: L'hétérogénéité de la distribution d'eau.

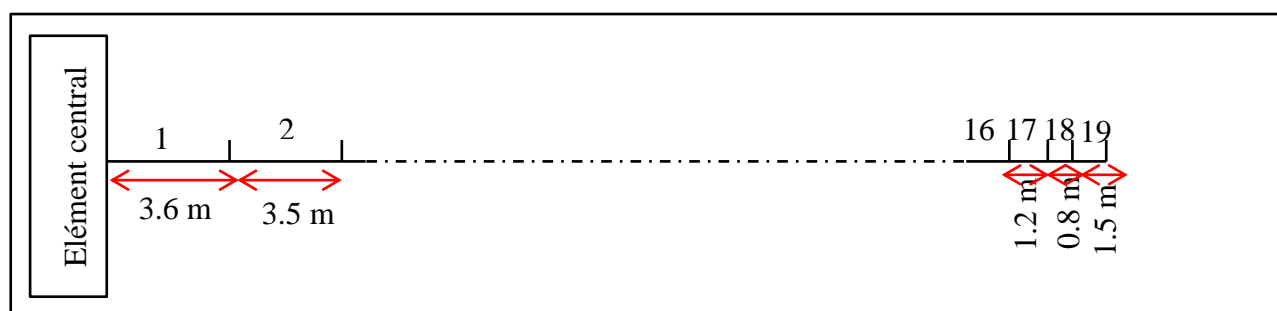


Figure 46: Ecartements entre les sorties destinées à recevoir les organes d'arrosage de type microdiffuseur sur la rampe du pivot artisanal.

Il convient de signaler ici, à titre d'exemple, que cet écartement déduit par les acteurs de terrain se rapproche de la portée de 4.5 m déterminée au laboratoire, qui sera présenté dans la prochaine section. Ceci démontre la pertinence de l'approche des acteurs locaux et concepteurs basée sur des observations et l'expérience du terrain. En l'occurrence, le

recouvrement entre arroseurs voisins et les dites parties « mouillées » et « non mouillées » prend partiellement en considération les caractéristiques de l'équipement. Nous considérons, à cet effet, que pour une compréhension de la performance l'analyse des pratiques et logiques, en lien avec les aspects purement technique et caractéristiques intrinsèques de l'équipement, représente une étape importante pour l'ingénieur. Cela dans l'objectif d'appuyer les acteurs locaux mais aussi pour orienter les décideurs et dirigeants de la politique agricole à partir de réalité de terrain, en particulier dans la vulgarisation et diffusion des nouvelles technologies entre autres dans le domaine du machinisme.

ii- Le choix d'équipement selon l'accessibilité, la disponibilité sur le marché et la maniabilité: Les firmes privées d'agrofourmiture surtout spécialisées en équipement d'irrigation offrent aujourd'hui sur le marché une large gamme d'asperseurs et arroseurs plus ou moins sophistiqués destinés au système de pivot avec des prix allant de 150 jusqu'à 400 DA. En revanche, durant les années de conception et émergence du pivot artisanal, de 1995 jusqu'en 2000, le service et la fourniture de ces firmes était très limité à El Oued. Selon les témoignages des 6 premiers fabricants, l'équipement d'irrigation était très faiblement offert sur le marché d'El Oued, contrairement aux intrants agricoles et pesticides qui étaient relativement disponibles dans les 3 ou 4 graineteries existantes. Néanmoins, le positionnement géographique d'El Oued (région frontalière) a permis à certains commerçants locaux, dans un premier temps, l'introduction informelle à partir de la Lybie des modèles d'arroseurs fabriqués en Chine et qu'on utilise depuis, appelés microdiffuseurs (figure 47). Par la suite, en raison de l'extension massive des pivots et la forte demande en la matière, certaines firmes privées se sont engagées dans l'importation directe, à partir de la Chine, de ces microdiffuseurs et de leur distribution à El Oued à travers les différentes quincailleries, grainetiers et vendeurs grossistes et détaillants d'équipement d'irrigation (voir réseau de fourniture et prestation de service dans le chapitre 4). Ces microdiffuseurs n'étaient accompagnés d'aucune fiche technique ou manuel de réglage, c'est néanmoins le seul modèle d'arroseur qu'on trouve installé sur les pivots artisanaux compte tenu de sa disponibilité et son prix raisonnable de 50 DA/unité. De plus, selon la moitié des agriculteurs interviewés (12/24), le microdiffuseur est particulièrement adapté au sol sableux en raison de ses fines gouttelettes qui permettent de limiter la dispersion des particules de sable, lorsqu'il est en marche. Il permet par conséquent de garder le tubercule de pomme de terre enfouis totalement sous le sable jusqu'au stade de maturité et éviter sa pourriture ou son verdissement avant la récolte. « Dans les autres régions du pays, on nous surnomme la Chine pour deux raisons :

l'imitation des machines et l'usage d'équipement camelot et de la ferraille. Oui c'est vrai ! C'est du camelot et de la ferraille mais utiles, pratiques et permettant de générer des profits contrairement au sophistiqué qui est cher, compliqué et peu disponible'' (artisan, fabricant de pivot, 52 ans)

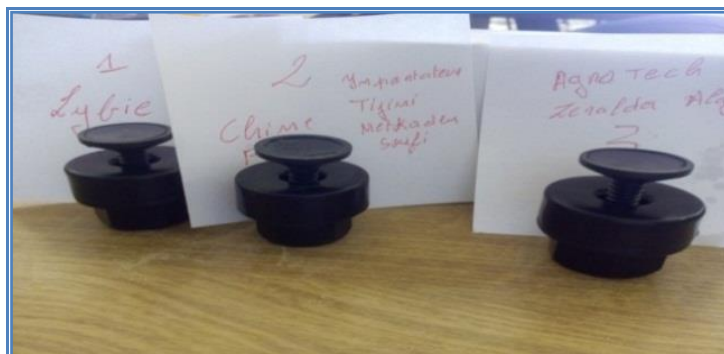


Figure 47: Modèle de microdiffuseur, installé comme organe d'arrosage sur le pivot artisanal et importé de Chine.

V.3 La performance *in situ*

Pour l'appréciation de l'uniformité de distribution d'eau, trois essais ont été menés en avril 2015, sous un pivot artisanal de 50 m utilisé lors de sa deuxième campagne, suivant un protocole expérimental adapté à partir de la norme ISO 15545 (voir chapitre méthodologie).

V.3.1 Support cartographique un outil d'aide à l'appréciation de l'uniformité de distribution d'eau

Nous avons procédé à un traitement numérique des résultats obtenus dans le but d'élaborer une carte pluviométrique. En procédant à l'interpolation, via le logiciel MapInfo (version 8.0), entre les courbes de niveau établies à partir des volumes reçus dans l'ensemble des collecteurs, nous avons pu produire une carte en mode raster. Nous avons obtenu une courbe radiale que nous avons étendue à la parcelle (voir figure 48 et 49). Ces deux types de représentations sont actuellement les plus couramment adoptés du fait qu'ils permettent une meilleure visualisation du recouvrement des asperseurs voisins et de l'effet du déplacement sur la distribution moyenne (Saretta et al., 2018). Dans notre cas, ces figures montrent clairement une grande hétérogénéité de distribution. On observe que plus de 16 % de la surface totale balayée par le pivot reçoit une pluviométrie supérieure à la moyenne qui est de 18 mm. Selon la norme ISO, on peut considérer que l'équipement présente une bonne uniformité de distribution d'eau si le coefficient est supérieur à 80%. Néanmoins, en obtenant un coefficient d'uniformité de 70% *in situ* pour le pivot artisanal, nous considérons que ce

résultat est encourageant pour un dispositif conçu localement et mérite de faire l'objet d'étude pour amélioration.

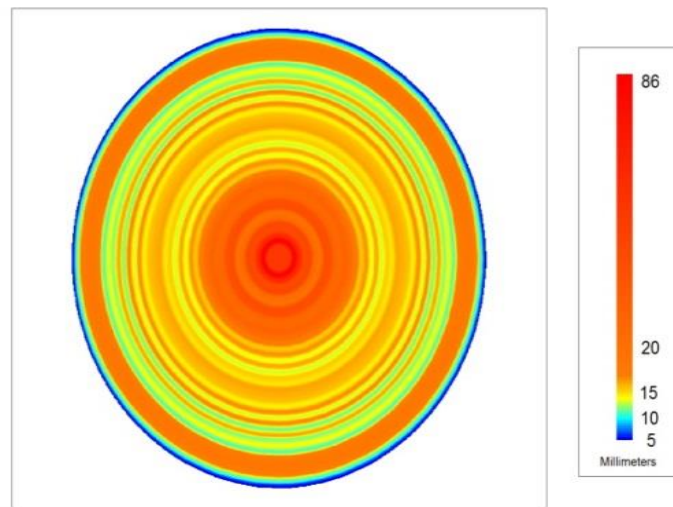


Figure 48: Carte pluviométrique en mode raster, uniformité de distribution, coefficient de 70%.

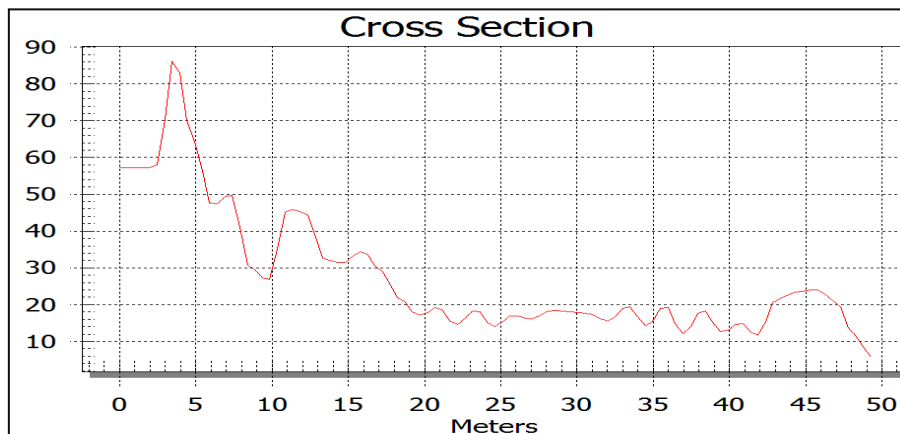


Figure 49: Courbe de distribution pluviométrique sous pivot 50 m.

Précisons aussi que certains travaux effectués sur des pivots conventionnels recommandent, dans le cas du maintien d'un même écartement entre arroseurs une évolution croissante de la pluviométrie le long du pivot : « *La principale spécificité des pivots, à prendre en compte dès la conception de l'installation, est le fait qu'ils arrosent une parcelle circulaire. Le fonctionnement en rotation implique que la travée la plus éloignée du centre devra dans le même temps que la première, parcourir une distance et arroser une surface bien plus grande. Ce déplacement plus rapide se traduira par la nécessité d'appliquer le volume d'eau requis en un temps très bref, autrement dit avec une intensité plus grande* » (Molle et al., 1998). Dans notre cas, les résultats *in situ* montrent que les plus grandes valeurs de pluviométrie se

localisent dans les vingt premiers mètres à compter de l'élément central du pivot. Par exemple, la pluviométrie varie d'un maximum de 86 mm (à 4 m du centre) à un minimum de 6 mm en extrémité du pivot. Précisons à ce propos que la vitesse du vent relevée durant les essais était nulle. Cette hétérogénéité de distribution d'eau et évolution décroissante de la pluviométrie s'explique donc, en partie, par le plan de busage adapté sur la base des observations des artisans, sans dimensionnement, mais aussi par les réglages et les ajustements que mènent les agriculteurs sur la parcelle.

V.3.2 Les réglages des agriculteurs-utilisateurs sur la parcelle influencent largement la performance

En s'inspirant du travail de Benouniche et al. (2013) nous avons essayé à travers nos entretiens en 2014/2015, réalisés avec les 24 agriculteurs, d'identifier les pratiques de réglage et d'ajustement sur champ en supposant qu'elles présentent un lien de cause à effet sur la performance hydraulique. Deux principales pratiques ont été identifiées, à ce propos. L'hypothèse sera confirmer ou infirmer ultérieurement, sur la base des résultats des mesures menés au laboratoire.

i) La vitesse du déplacement :

La chaîne cinématique est assurée par un ensemble d'équipements de motorisation et de transmission permettant le déplacement du pivot (Ould Rebai, 2015). Le déplacement du pivot est généralement fixé sur une seule vitesse mais cette dernière peut être éventuellement modifiée en changeant la poulie du réducteur de vitesse, ceci permet deux possibilités : 3 heures ou 4 heures pour un tour de pivot. La vitesse de déplacement est inversement proportionnelle au diamètre de cette poulie (*ibd*).

ii) Le réglage des microdiffuseurs :

Le réglage des microdiffuseurs, à buse filetée (figure 47), suit une logique que partagent les 24 agriculteurs interviewés "garder les premières buses, des premiers arroseurs, plus ouvertes que celle des dernières". A ce propos, les agriculteurs ont donné le même argument : ils s'adaptent aux écartements entre les sorties, qu'appliquent les artisans. Selon ces agriculteurs le premier écartement, par exemple de 4 m, nécessite une ouverture de buse supérieure à celle du dernier de 1.5 m. Or, l'ouverture de la buse conditionne le débit de l'arroseur. A notre avis, ce raisonnement doit être vérifié. En hydraulique, la surface de couverture de chaque arroseur A est une surface d'anneaux de rayon moyen r et de largeur dr qui doit être calculée initialement suivant la formule $A=2 \pi r dr$. En

l'absence de données techniques, le réglage d'ouverture des 19 arroseurs se fait approximativement, selon les perceptions et logiques des agriculteurs. Il est donc intéressant de confronter les réglages empiriques avec ce raisonnement hydraulique. Ceci justifie la nécessité de la caractérisation de ce modèle de microdiffuseur dans un laboratoire spécialisé, dans une perspective d'améliorer l'uniformité de distribution de ce pivot en maintenant ce modèle de microdiffuseur, jugé maniable, disponible et peu coûteux par les agriculteurs.

V.4 Caractérisation des organes d'arrosage 'microdiffuseurs'

V.4.1 Comportement débits-pression

Comme déjà annoncé dans la méthodologie nous avons appliqué sur 5 arroseurs différentes pressions et enregistré les débits correspondants et ce pour 5 niveaux d'ouverture de buse. Au total 281 mesures ont été réalisées pour déterminer le comportement débit-pression. Un traçage préalable des segments, sur chacun des 5 arroseurs, a permis d'avoir des repères et régler le niveau d'ouverture souhaité. La gamme de pressions appliquées, de 1 jusqu'à 4 bar, est compatible avec celle que l'on trouve sur les pivots conventionnels ou encore sur les asperseurs classiques. Par conséquent la pression de 1 bar a été prise comme seuil minima (P_{min}).

Nous avons validé nos résultats avant leur exploitation. Selon la norme ISO 15886 la conformité de l'essai doit se vérifier en calculant, pour chacune des pressions (P), l'écart des débits (Q_i) des 5 arroseurs par rapport à leur moyenne (Q_{moy}), $R = (Q_{moy} - Q_i) / Q_{moy} < 7\%$.

Le coefficient R a été calculé pour chacune des P et il est dans l'intervalle de $\mp 7\%$ et donc les essais réalisés sont conformes (annexe 1).

Généralement ces tests sur bancs d'essais, dans un tel laboratoire spécialisé, sont principalement réalisés dans le but de contrôler des équipements d'irrigation suivant la fiche technique fournie par le fabricant dans laquelle on trouve les caractéristiques spécifiques (par exemple P_{min} , P_{max} et $P_{Nominale}$ avec les débits et portées correspondants...etc.). Or, la principale contrainte rencontrée avec ce type d'arroseur "microdiffuseur" est l'absence d'une fiche technique.

A travers ces essais débit-pression, nous cherchons à déterminer une plage de fonctionnement de l'arroseur i.e. les débits correspondant aux (P_{min} , P_{max}) pour l'ensemble des ouvertures. Raison pour laquelle nous avons établi deux sortes de présentations pour illustrer les résultats (voir annexe 1) :

- (i) les courbes débit-pression des 5 arroseurs ($Q = f(P)$) pour chaque niveau d'ouverture (figure 50). Ce type de courbe représente pour chacun des arroseurs le débit correspondant à chaque couple (pression, ouverture).
- (ii) la représentation en forme d'histogramme les débits des arroseurs en fonction des différentes ouvertures pour chacune des pressions appliquées (figure 51). Ceci a été élaboré dans le but de mieux visualiser la variabilité du fonctionnement hydraulique des arroseurs d'une part, entre les débits des 5 arroseurs pour un même couple Pression-Ouverture (P-O), d'autre part entre les débits des couples (P-O) d'un même arroseur.

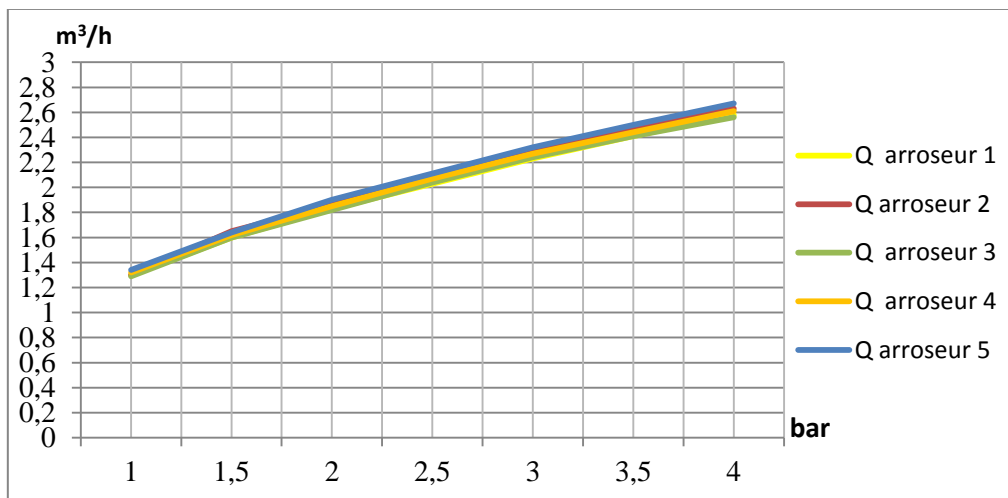


Figure 50: Essais débit-pression $Q=f(p)$ pour une ouverture de buse de 2 tours.

Les courbes $Q = f(P)$ sont juxtaposées et globalement le débit des 5 arroseurs pour l'ensemble des couples (P, O) varie entre une valeur min 1 jusqu'à max 2.66 m³/h correspondant successivement aux pressions min et max : 1 et 4 bar (voir annexe 1). Aussi les histogrammes $Q = f(O)$ montrent que pour une même P et même ouverture (chacun des couples P-O) les valeurs des débits des 5 arroseurs sont assez proches, l'écart moyen ne dépasse pas les 4%. Donc l'hétérogénéité dans la fabrication des arroseurs influe peu sur le débit, respectant le critère ISO ($\pm 7\%$). La plage de fonctionnement a été déterminée à partir des courbes $Q=f(P)$, en calculant les moyennes des valeurs min et max des débits des 5 arroseurs (tableau 16).

En outre, à partir de ces histogrammes $Q = f(ouv)$ nous avons déterminé l'ouverture maximale. C'est à dire lorsqu'un arroseur est placé en un point x sur le pivot et reçoit une pression P_x , pour cette même pression P_x au-delà de l'ouverture 2,5 le débit reste pratiquement le même pour cet arroseur et ce quel que soit le niveau d'ouverture (3 ou 3,5). Ceci est illustré par le cas de P_{max} (figure 51). Ceci peut être également déduit à partir du tableau 1 (plage de fonctionnement) au-delà d'une ouverture de 2,5 les Q_{min} et Q_{max} restent

pratiquement constants, gardant les mêmes valeurs même si on augmente le niveau d'ouverture à 3 ou 3,5.

Tableau 16: plage de fonctionnement du microdiffuseur, type d'arroseur monté sur pivot artisanal élaboré par nos soins

Ouverture buse	Plage de fonctionnement
0,5	Pmin (1bar): Qmin (0,99 m ³ /h) Pmax (4bar): Qmax(1,83 m ³ /h)
1	Pmin (1bar): Qmin (1,19 m ³ /h) Pmax (4bar): Qmax(2,23 m ³ /h)
1,5	Pmin (1bar): Qmin (1,29 m ³ /h) Pmax (4bar): Qmax(2,52 m ³ /h)
2	Pmin (1bar): Qmin (1,31 m ³ /h) Pmax (4bar): Qmax(2,61 m ³ /h)
2,5	Pmin (1bar): Qmin (1,33 m ³ /h) Pmax (4bar): Qmax(2,64 m ³ /h)
3	Pmin (1bar): Qmin (1,33 m ³ /h) Pmax (4bar): Qmax(2,66 m ³ /h)
3,5	Pmin (1bar): Qmin (1,34 m ³ /h) Pmax (4bar): Qmax(2,66 m ³ /h)

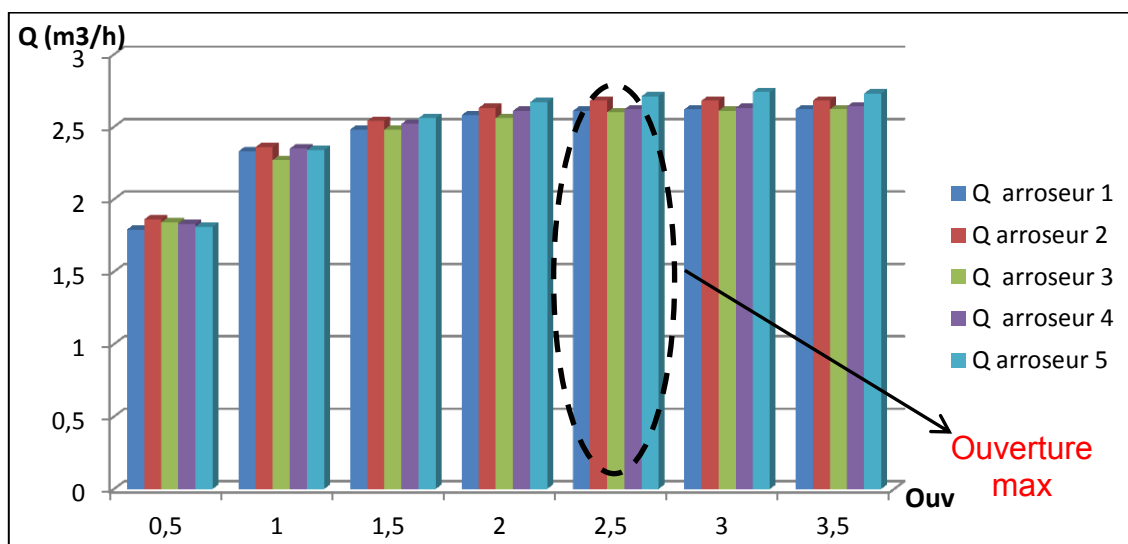


Figure 51: Détermination de l'ouverture maximale, illustration par résultats de P=4bar.

A titre indicatif et pour illustrer l'importance de ce que nous avons avancé précédemment concernant l'influence du comportement des agriculteurs sur la performance, notamment le réglage des microdiffuseurs suivant le principe « *garder les premières buses des premiers arroseurs plus ouvertes que celles des derniers* », le tableau 17 montre l'écart entre les débits moyens correspondants aux ouvertures min et max pour les différentes pressions. Par exemple à P= 4 bar, l'écart entre les débits des deux ouvertures min et max atteint 0.82 m³/h soit 820 l/h. Cet écart de débit influence largement l'homogénéité de distribution d'où l'importance d'effectuer un dimensionnement et de proposer un r plan de busage adéquat. Il convient ici de

signaler que le débit de chaque arroseur sur le pivot, réglé par le niveau d'ouverture de buse, doit être dimensionné en fonction de la surface qu'il doit couvrir. Nous reviendrons sur ce point dans les prochaines sections de ce chapitre.

Tableau 17: Ecart Q_{moy} des ouvertures min et max pour les différentes P.

P (bar)	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
σQ_{moy} (m ³ /h)	0.35	0.47	0.56	0.63	0.7	0.76	0.82
σQ_{moy} (l/h)	350	470	560	630	700	760	820

V.4.2 Distribution pluviométrique

Nous cherchons dans cette troisième série de mesures à étudier le comportement pluviométrique de ce modèle d'arroseur. Les conditions d'essai et de mise en conditionnement, tels qu'ils sont recommandés par la norme ISO, ont été respectés (partie méthodologie).

D'abord des essais sélectifs ont été effectués sur 3 arroseurs, dans le but d'apprécier la variabilité de la distribution pluviométrique entre arroseurs et de choisir un arroseur moyen représentatif. Les résultats bruts ont été établis sur fichier Excel. Dans le but de mieux visualiser la symétrie pluviométrique d'un seul arroseur et la variabilité de distribution entre arroseurs, nous avons jugé utile d'établir des cartes en mode raster (voir figure 52).

Le profil pluviométrique du déplacement de la rampe peut être reproduit en prenant en compte le profil de distribution d'un arroseur calculé à partir de la carte de distribution. Ce profil peut correspondre aux deux courbes des cumuls lignes et cumuls colonnes du maillage de pluviomètres appliqué lors de l'essai de l'arroseur (voir figure 53). À partir de ces deux cumuls nous avons pu établir les deux courbes moyennes des trois arroseurs (figure 53). Ce type de représentation permet en outre de déterminer l'arroseur moyen et aussi par la suite, dans la prochaine section, de choisir l'écartement optimal permettant un bon recouvrement pour simuler ensuite le profil pluviométrique sous l'ensemble du pivot.

Trois principaux résultats peuvent être dégagés à ce propos :

i) *l'hétérogénéité entre arroseurs* : contrairement aux résultats des essais débit-pression où nous avons remarqué une certaine homogénéité de fonctionnement entre 5 arroseurs, nous remarquons que les 3 arroseurs, soumis aux mêmes conditions (ouverture buse et pression), présentent une variabilité du comportement de distribution spatiale de la pluviométrie, notamment à la périphérie de la zone mouillée dans les zones de recouvrement (figure 52). En établissant les courbes moyennes ainsi que les courbes min et max pour chaque arroseur nous avons pu évaluer et exprimer cette variation entre arroseurs (voir figure 54, 55 et 56). Il ressort que l'arroseur 1 présente une forte variabilité et ne permet pas d'obtenir un arrosage uniforme, l'arroseur 3 présente le minimum d'écart entre les pluviométries extrêmes (min et max) par rapport à la pluviométrie moyenne, raison pour laquelle il a été retenu comme arroseur moyen pour faire l'objet de la prochaine série de mesures.

ii) *La distribution pluviométrique pour un même arroseur* : comme pour d'autres modèles d'arroseurs, la courbe pluviométrie du microdiffuseur prend la forme d'une cloche (Molle et al., 1998). Nous remarquons une hétérogénéité de distribution, parfois même une mauvaise symétrie. Cela s'observe en particulier à travers les pluviométries sur les extrémités : respectivement une pluviométrie nulle et maximale pour les deux zones (Z1 et Z2) qui sont à égale distance par rapport à l'axe.

Cette hétérogénéité entre arroseurs et la faible symétrie pluviométrique pour un seul arroseur peuvent engendrer une mauvaise distribution pluviométrique sous le pivot que le recouvrement entre distributeurs voisins et le déplacement de la machine permettent de corriger.

iii) *La portée maximale* de ce modèle 'microdiffuseurs' est de 4.5 m. Comme nous allons le voir dans la prochaine partie, la proposition d'un nouveau plan de busage va tenir compte de cette portée et des autres paramètres liés à l'arroseur, à la machine, au climat et besoin en eau de la culture.

En conclusion en retenant une pluviométrie moyenne horaire cumulée de 79 mm/h, calculée à partir de la courbe moyenne de l'arroseur moyen, la pluviométrie varie localement de $\pm 33\%$. Cette valeur est obtenue sur le maillage utilisé (9 m x 9 m) avec une portée moyenne de 4.5 m.

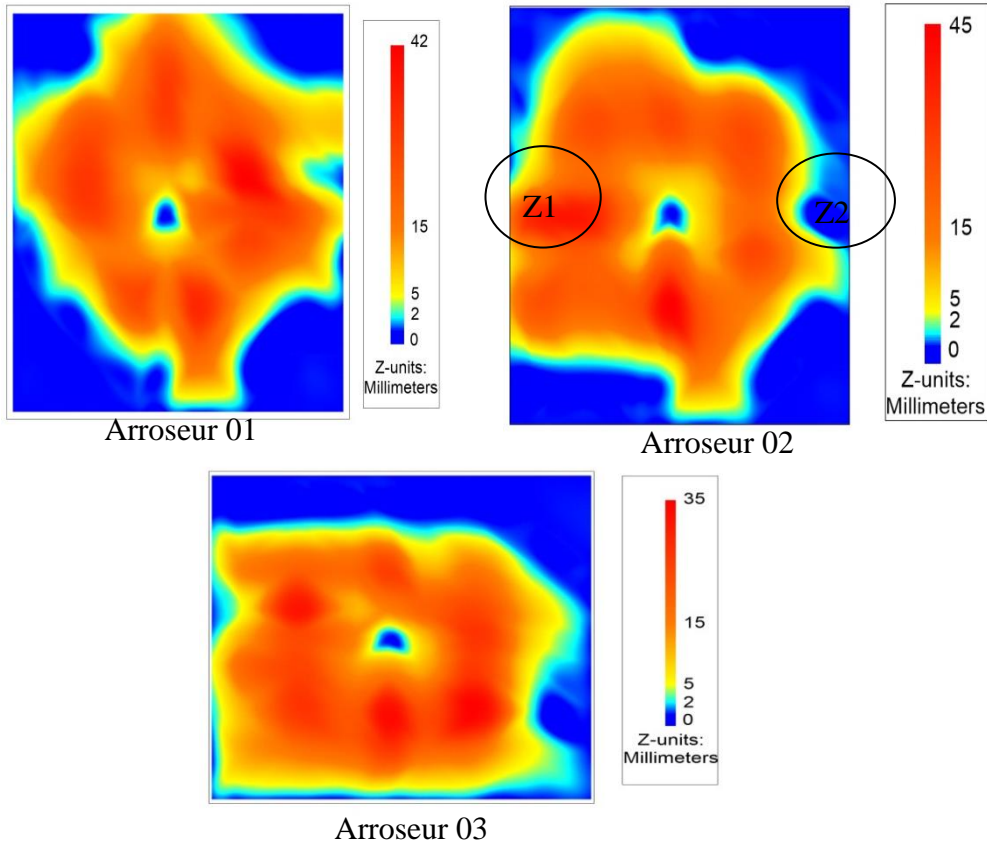


Figure 52: Cartes pluviométriques de trois arroseurs réglés à une même ouverture max 2.5 et soumis à une même pression de 2bar.

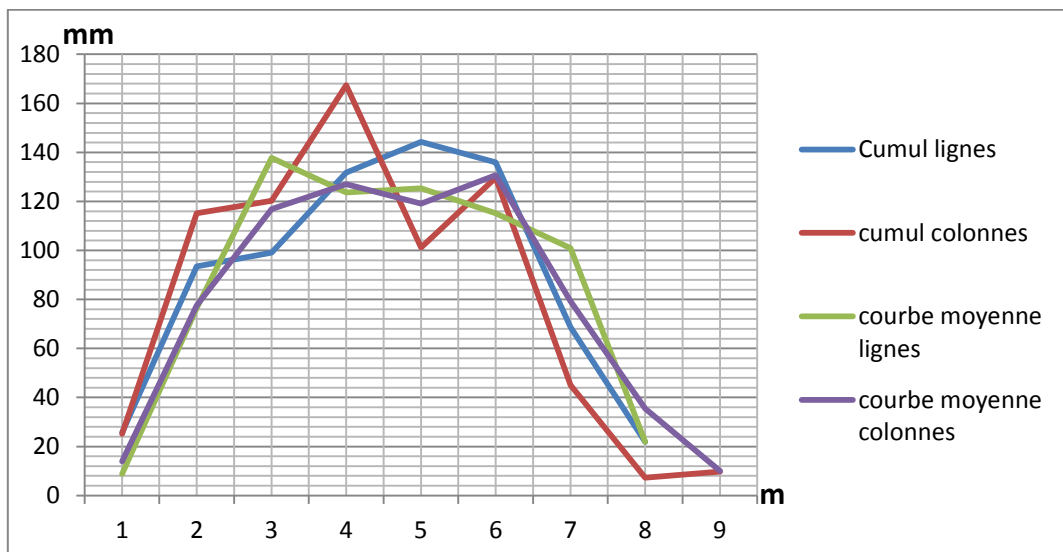


Figure 53: Profil pluviométrique de l'arroseur 1 avec P= 2 Bar et ouverture de buse de 2.5.

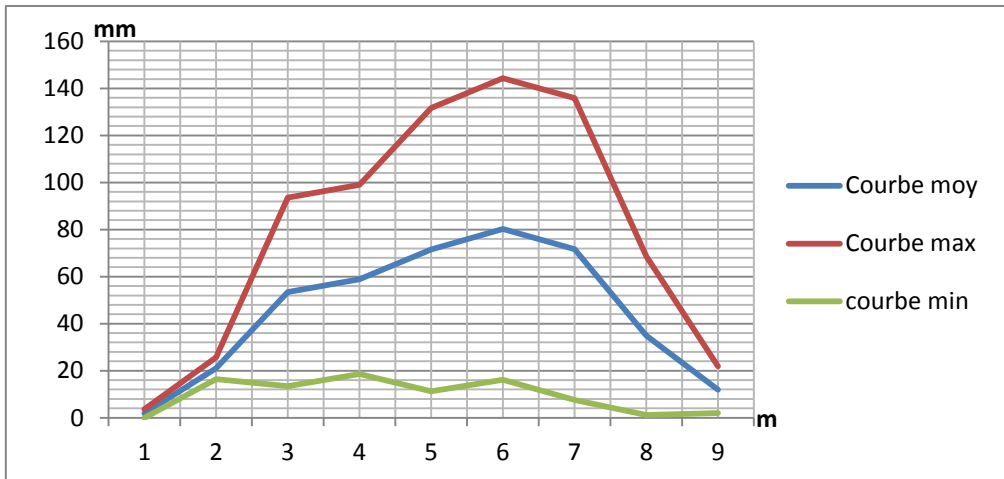


Figure 54: courbe de débit moyenne, min et max pour l'arroseur 1.

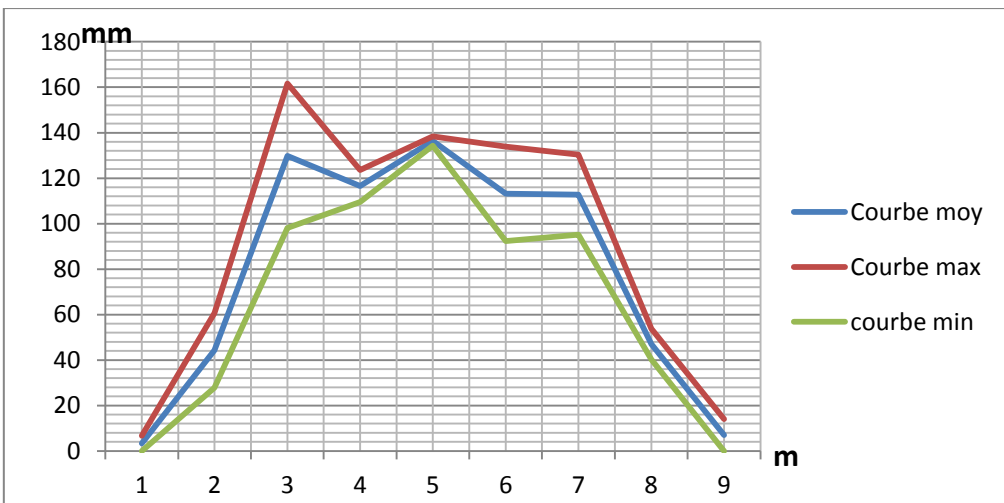


Figure 55 : courbe de débit moyenne, min et max pour l'arroseur 2.

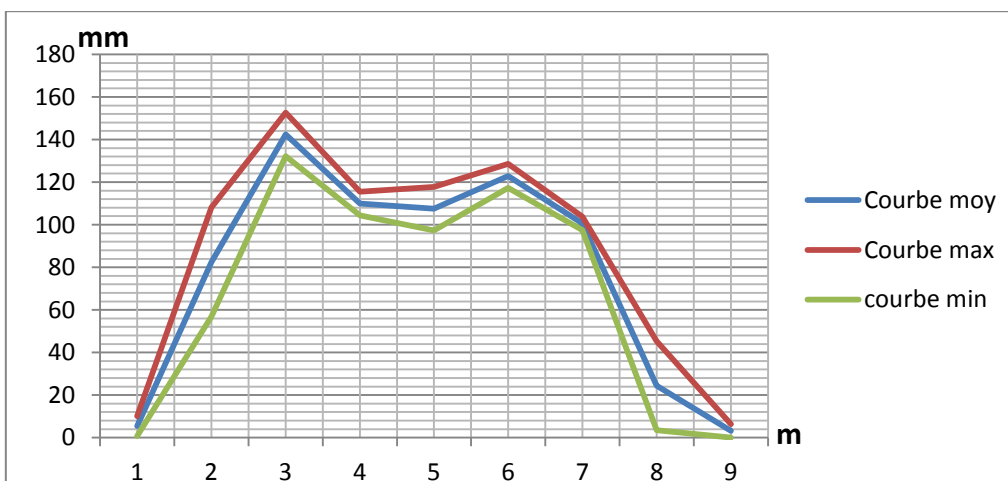


Figure 56: courbe de débit moyenne, min et max de l'arroseur 3.

V.5 Simulation et voies d'amélioration de la performance hydraulique

Nous cherchons dans cette partie à proposer des voies d'amélioration de la performance hydraulique du pivot artisanal à travers de simples ajustements en maintenant la conception et le modèle d'arroseur que les agriculteurs connaissent et apprécient car il est disponible, peu coûteux et maniable. Pour ce faire nous allons employer nos résultats des essais menés au laboratoire pour corriger une partie des imperfections de distribution du pivot. Il convient ici de rappeler que les résultats pour le microdiffuseur ont montré un bon fonctionnement débit-pression (stable et homogène), mais un comportement pluviométrique beaucoup moins performant. Les cartes pluviométriques des trois arroseurs révèlent en effet de fortes hétérogénéités et une faible symétrie de la carte de distribution de pluviométrie des arroseurs. Cependant des corrections sont possibles, malgré la faible uniformité pluviométrique de l'arroseur individuel. En effet, l'irrigation avec une rampe pivotante permet, compte tenu de son déplacement, de lisser la distribution de l'eau. A cet effet, notre réflexion consiste à reconstituer le profil pluviométrique à l'échelle de l'ensemble du pivot artisanal à partir du profil unitaire de l'arroseur, i.e. le profil de répartition d'un asperseur isolé sera greffé sur le profil du mouvement de la rampe pivotante (figure 57). Des simulations seront réalisées ensuite et confrontées aux besoins de la culture et au fonctionnement du pivot pour sélectionner celle qui permet une irrigation plus performante. Notre réflexion s'inspire de travaux réalisés sur la modélisation de la distribution des apports d'eau sous pivot conventionnel en particulier ceux de Molle (1995 et 1998) ainsi que le modèle portant sur l'hétérogénéité de l'apport d'eau, élaboré par IRSTEA (ex- Cemagref) dans le cadre du projet européen NIWASAVE sur la modélisation d'irrigation. Ces modèles sont conçus pour prédire l'apport d'eau à l'échelle d'une parcelle irriguée en tenant compte du matériel, des méthodes de conduite de l'arrosage et des facteurs climatiques (Cemagref, 1999).

V.5.1 Simulation de l'arroseur

Dans une première étape nous avons simulé, à partir des résultats d'essais en maillage (9m x 9m) à poste fixe, le profil pluviométrique du recouvrement d'un arroseur en déplacement et lorsqu'il est monté sur la rampe. Ce profil de distribution correspond à la courbe moyenne des cumuls lignes et colonnes des volumes d'eau collectés dans les 81 pluviomètres (figure 57). Il convient de rappeler que des essais pluviométriques ont été réalisés, sur un arroseur moyen représentatif, pour les différentes ouvertures de buses avec une pression de 2 bar (compatible avec ce qu'on trouve sur les grands pivots). Ce qui nous a permis, de reproduire le profil

pluviométrique des différentes ouvertures de min jusqu'au maximum (voir annexe 2, pour les essais de pluviométrie sur arroseur moyen).

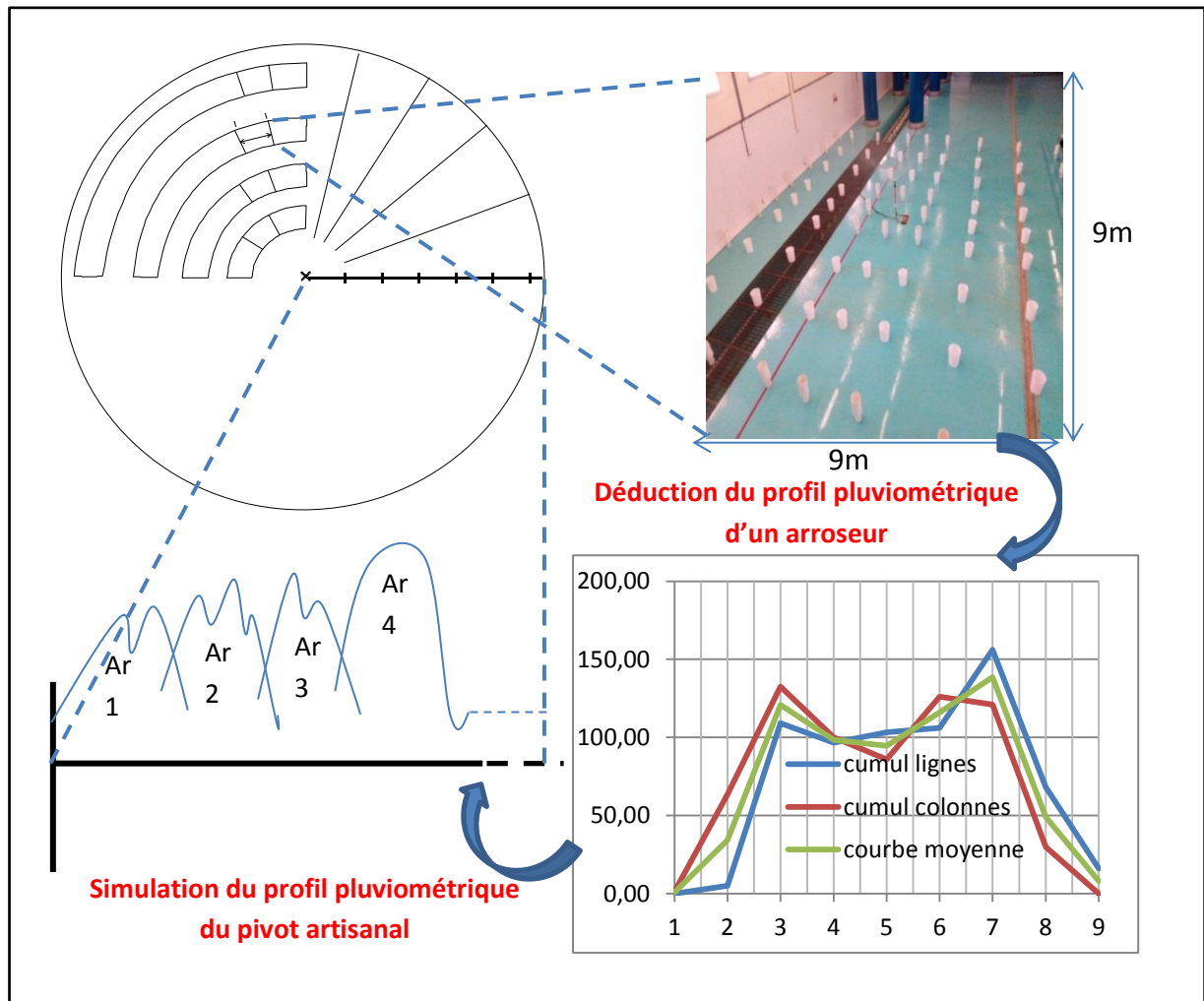


Figure 57: schématisation de la réflexion de simulation du profil pluviométrique du pivot artisanal à partir des résultats du laboratoire.

Dans une seconde étape nous cherchons à déterminer une corrélation entre débit et pression ($Q = f(P)$) et ce dans l'objectif d'extrapoler par la suite les débits prévus par les arroseurs le long de la rampe et qui varie (i) selon l'ouverture de la buse à régler (ii) suivant l'évolution décroissante de la pression le long de la rampe du pivot à cause des pertes de charge.

Pour ce faire nous avons exploité notre base de données constituée à partir des 281 mesures débit-pression effectuées sur les 5 arroseurs. Pour chaque ouverture nous avons corrélé les résultats des 5 arroseurs ce qui nous a permis d'obtenir des formules puissance avec un coefficient de corrélation R qui dépasse 98% i.e. formule de type $Q = a P^b$ (voir exemple figure 58). Les résultats sont présentés en annexe 3.

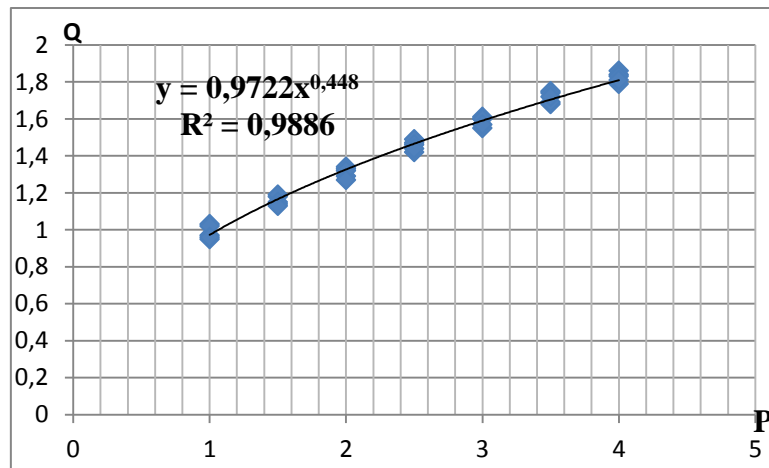


Figure 58: exemple de corrélation entre débit-pression des 5 arroseurs représentatifs ayant fait l'objet des essais laboratoire.

V.5.2 Simulation du fonctionnement du pivot

Notre objectif ici est d'élaborer un support simulateur sur Excel tenant compte des besoins de la culture (pomme de terre) et du fonctionnement du pivot. Ceci nous facilitera la simulation des apports d'eau du pivot artisanal à l'échelle d'une parcelle de façon représentative par rapport à la réalité.

Nous avons commencé par une simulation en débit où nous avons cherché à représenter l'ensemble de la machine à partir de la connaissance du fonctionnement des 5 arroseurs représentatifs grâce à nos essais débit-pression réalisés.

D'abord nous avons dimensionné le pivot artisanal sur la base des critères du climat et besoin en eau de la culture de pomme de terre (figure 59). Il s'agit du dimensionnement des besoins :

- A- à l'entrée du pivot :
 - Le débit d'équipement (Q_e) est calculé à partir de (i) la dose journalière à apporter pour la culture en question (pomme de terre) en mois de pointe (ii) les paramètres du pivot : vitesse de déplacement (V) et surface (S) balayées par ce pivot de 50m)
 - Pour la pression de fonctionnement (P), nous proposons 2 bar. C'est une valeur avec laquelle un maximum d'essais de pluviométrie ont été réalisés au laboratoire sur l'arroseur moyen représentatif, et ce du fait qu'elle est compatible avec ce qu'on trouve dans le cas des pivots.
- B- Le long de la rampe :
 - Le débit requis (Q_{req}) représente la demande ou besoin en apport à fournir au niveau de chaque sortie d'arroseur le long la rampe. Il a été dimensionné à

partir de la dose journalière, la vitesse de déplacement du pivot et la surface élémentaire (S_i) que doit couvrir l'arroseur (anneau équivalent) (figure 59). Cette valeur dépend bien sûr fortement de l'écartement entre arroseurs.

- La pression de l'arroseur (P_{Ar}) : c'est aussi la pression résiduelle, celle que chaque arroseur va réellement recevoir sur chaque sortie le long de la rampe. En partant d'une pression de 2 bar proposée et en défalquant les pertes de charges, calculées pour chaque tronçon (écart entre arroseurs), cette pression (P_i) a été dimensionnée.

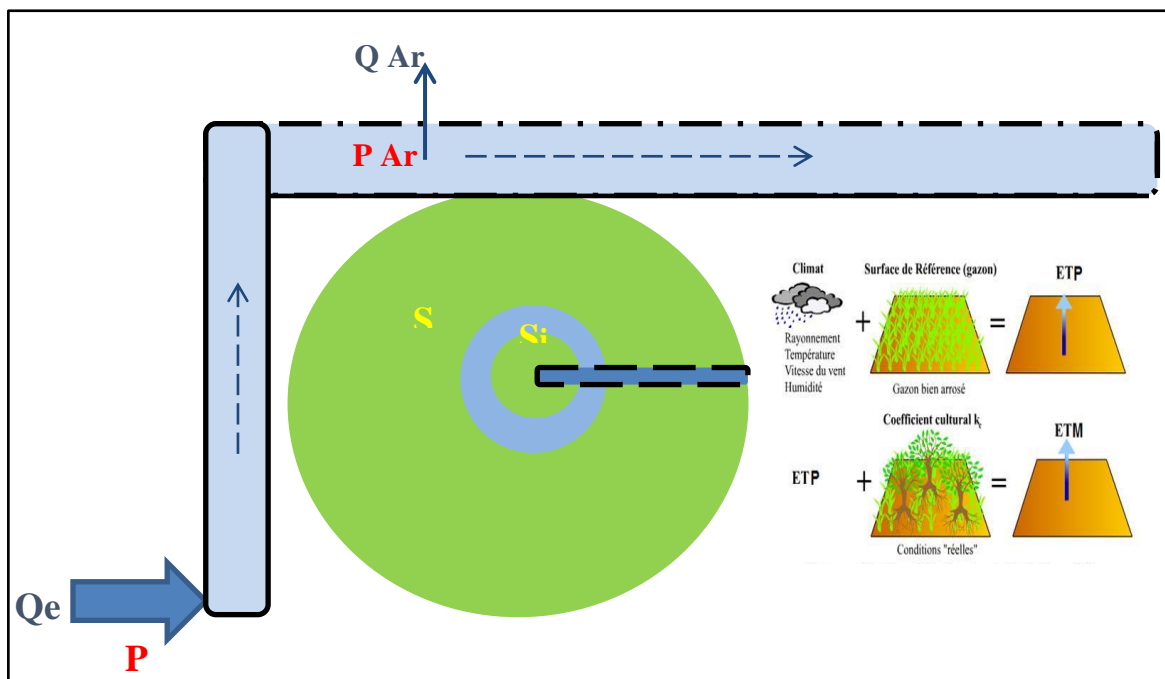


Figure 59 : Schématisation du principe du dimensionnement hydraulique du pivot artisanal à partir des paramètres liés au pivot, le climat et la culture.

Dans la seconde étape, nous avons cherché à confronter (Q_{Ar}) au (Q_{req}), et donc l'offre à la demande ou le besoin. Ceci permet de proposer un plan de busage plus adéquat, c'est à dire sélectionner les ouvertures puis sélectionner des écartements plus adéquats. Pour ce faire, après dimensionnement de la pression de l'arroseur (P_{Ar}), les corrélations débit –pression déterminées précédemment ($Q = f(p)$), ont permis d'extrapoler le Q_{Ar} prévu sur chaque sortie d'arroseur et ce pour les différentes ouvertures de la buse. Il convient de signaler que les formules, sur notre support simulateur élaboré sur Excel, sont inter-reliées de façon à ce qu'ils nous permettent systématiquement, en variant les paramètres d'entrée (P et V), de prévoir les Q_{Ar} et Q_{req} , sur chaque sortie d'arroseur le long de la rampe. Puis de représenter graphiquement le croisement de l'offre versus le besoin. Ceci a permis la simulation des

apports d'eau du pivot artisanal à l'échelle d'une parcelle de façon représentative suite à quoi nous pourrions proposer des voies d'amélioration.

Notons que le présent dimensionnement du pivot artisanal concerne la culture de pomme de terre sur un sol sableux. Néanmoins notre support simulateur peut faire le dimensionnement du pivot artisanal en d'autres conditions en changeant les paramètres d'entrées liés à la culture, le pivot et le climat. Ceci peut se faire en changeant par exemple la vitesse du pivot artisanal et la pression d'entrée. Aussi, la dose journalière sera recalculée systématiquement en introduisant l'ETP, le K_c de la culture concernée, mais aussi les paramètres liés au sol si la texture n'est pas similaire. Cela afin de tenir compte des contraintes spécifiques, en particulier le ruissellement en texture argileuse à forte rétention en eau. Dans le cas du changement de la longueur ou la matière de la canalisation (rampe) il faut mettre sur le simulateur la dimension et le coefficient de la rugosité appropriés pour en tenir compte dans le dimensionnement des pertes de charge le long de la rampe.

V.5.3 Voies d'amélioration

Le support simulateur ainsi élaboré permet de tenter des simulations en variant les paramètres d'entrée liés au pivot (P et V) (voir figures 60, 61 et 62). Dix simulations de débit ont été réalisées, avec les différentes combinaisons possibles. Les résultats sont présentés en annexe 4. Il convient de rappeler aussi que sur le terrain la vitesse du déplacement pivot (V) peut être modifiée en changeant simplement la poulie du réducteur de vitesse. Deux diamètres sont disponibles sur le marché, assurant deux vitesses de déplacement 3 et 4h/ tour. Celle du pivot artisanal, ayant fait l'objet des mesures in situ, est de 3 h/tour et c'est généralement la plus répandue dans la zone. Il ressort de nos résultats que le changement de la vitesse de déplacement n'influe pas vraiment sur la performance hydraulique de ce pivot. Les ratios des zones sur- et sous-arrosées, par rapport à la surface totale balayée par le pivot, sont similaires dans les deux simulations réalisées avec une même pression et différentes vitesses. Par exemple, avec une même pression de 2 bar, les surdoses (i.e. zones où le minimum d'offre ($Q_{Ar/ouv} 0.5$) est supérieur à la demande ou besoin (Q_{req})), représentent respectivement 12 % et 12.3% de la surface totale pour les simulations réalisés avec 3 et 4 h/tour de vitesse. Les sous-doses, en revanche, i.e. la zone où la demande ou besoin (Q_{req}) dépassent le maximum d'offre ($Q_{Ar/ouv} 2.5$), représentent respectivement 15.5 % et 13.8 % de la surface totale pour les deux cas (voir figures 61 et 62). Ceci rejoint les résultats obtenus par Molle et al. (1998) qui avaient aussi démontré que la vitesse du déplacement du pivot conventionnel n'influe pas

vraiment sur son uniformité de distribution. De ce fait, la vitesse du pivot peut être maintenue à 3h/tour.

En termes de pression, la simulation réalisée avec 3 bar permet de satisfaire le besoin de la culture sur la quasi-totalité de la surface. En comparaison avec les autres simulations elle présente la plus faible portion de zone de sous arrosage, moins de 0.5 % (voir figure 62). La zone de sur arrosage représente par contre 17 % de la surface totale.

Cependant, la gamme de fonctionnement des grands pivots conventionnels d'une longueur de 350 m et plus, irrigant 30 ha et plus, est aux environs de 2 bar. Le fonctionnement de ce petit pivot de 50 m avec 3 bar n'est pas très performant sur le plan énergétique. Nous suggérons, à cet effet, pour les prochaines installations et même les pivots existants une pression de 1 à 2 bar. Par conséquent la simulation réalisée avec pression 2 bar a été retenue pour proposer des ajustements améliorant la performance hydraulique et énergétique. Ceci peut être envisagé suivant deux cas: un pivot déjà fabriqué et installé sur la parcelle ou un pivot qu'on prévoit de fabriquer.

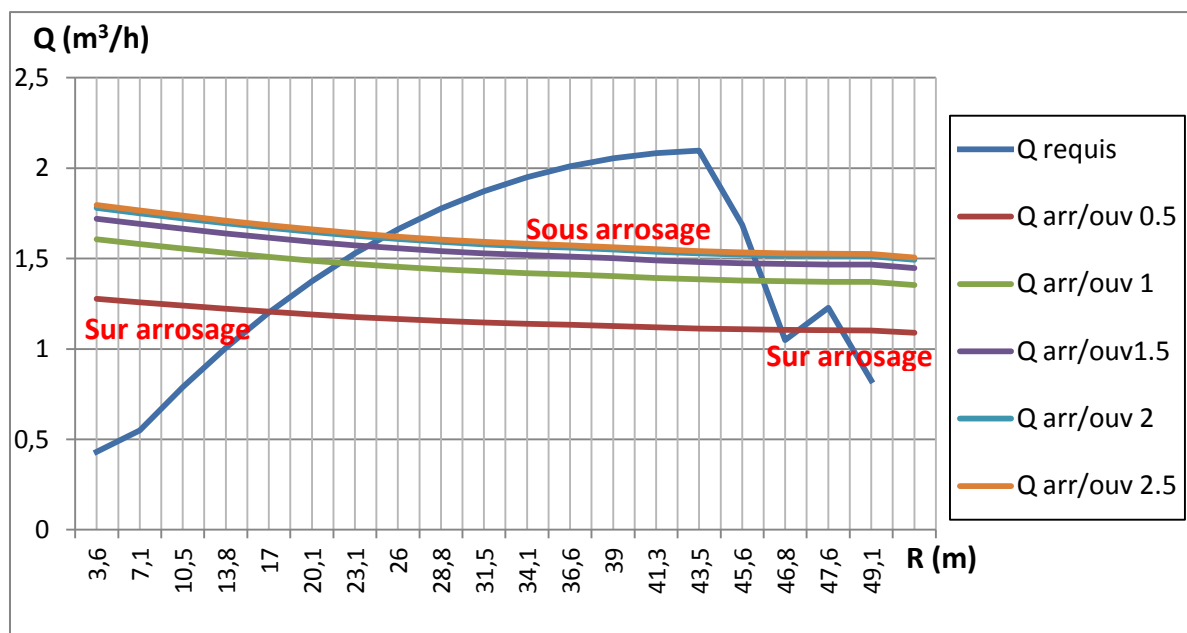


Figure 60: Simulation 01 avec pivot (50m, 3h/tour), P=2Bar avec même busage.

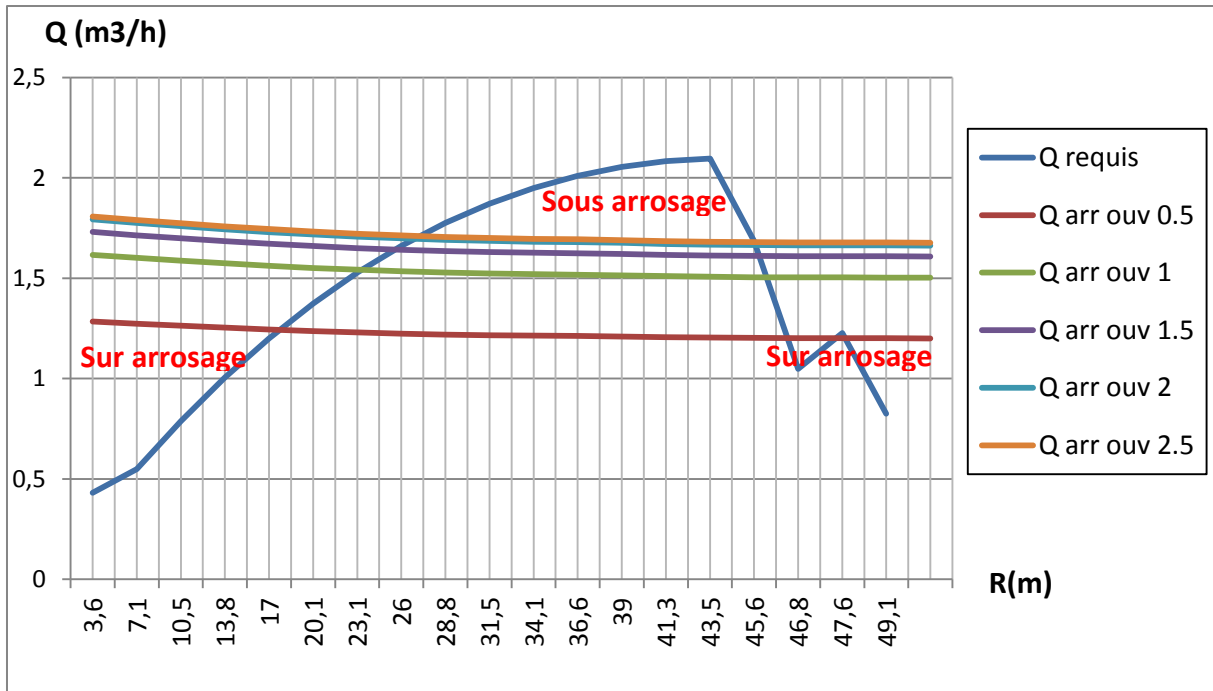


Figure 61: Simulation 01 avec machine (50m, 4h/tour), P=2Bar avec même busage.

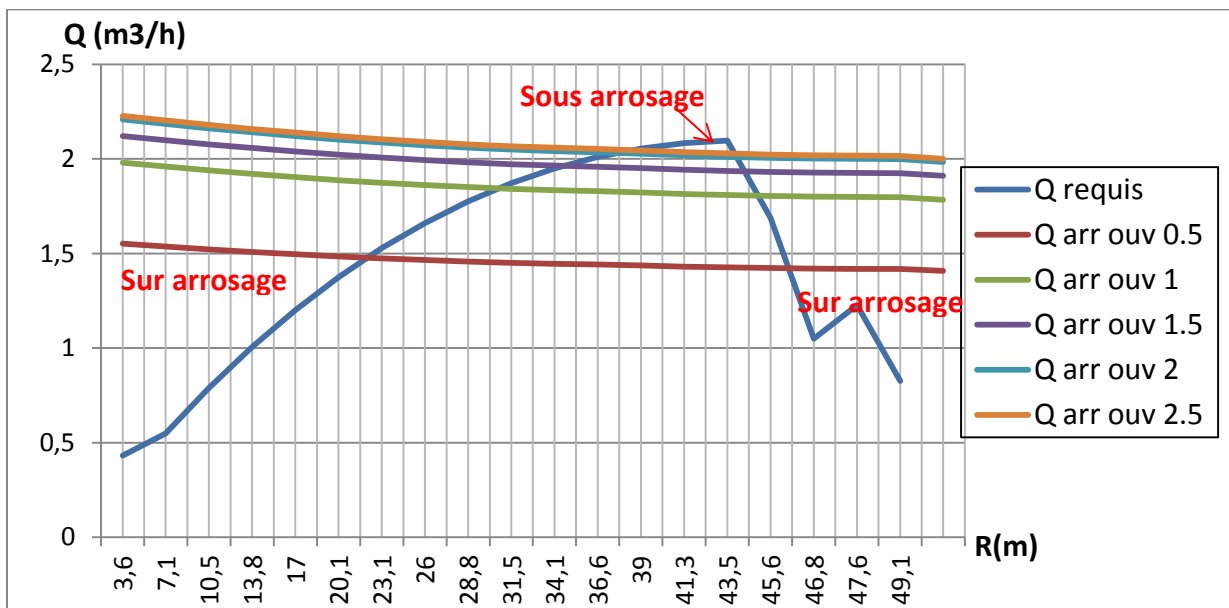


Figure 62 : Simulation 5 avec pivot (50m, 3h/tour), P = 3 Bar avec même busage.

↳ *Réglage et adaptation sur les machines déjà existantes et installées sur la parcelle*

Il s'agit ici, pour notre premier cas de figure, de proposer des réglages simples pour améliorer les performances pour les pivots déjà installés, un parc de plus de 35 000 pivots. Ceux-ci peuvent être apportés par l'agriculteur sans assistance. Nous proposons :

- (i) En termes de pompage, d'installer un pompe ou groupe motopompe, assurant une pression de 2 bar à l'entrée du pivot, au lieu la pression de 4 bar mesurés sur le pivot.
- (ii) En termes de plan de busage, de rajouter 3 sorties sur la rampe pour monter trois autres arroseurs, leurs positions et écartement sont indiqué par (+) dans le tableau 18. Nous proposons aussi de tracer des repères sur l'ensemble des arroseurs (tel que nous l'avons fait dans la figure 63) et d'appliquer les ouvertures des buses proposées dans le tableau 18. Ceci permet l'amélioration de la performance énergétique et hydraulique en comparant avec l'état initial du pivot. La zone de sur-arrosage sera réduite de plus de la moitié : 12 % de la surface totale au lieu 27.5 % (figure 64). Cependant, la zone de sous-arrosage sera réduite à moins de 2.5 % de la surface totale.



Figure 63: traçage des repères sur les microdiffuseurs pour faciliter le réglage.

Tableau 18: Proposition du réglage et ajustement de busage sur les pivots existants.

N° d'asperseur	ouverture buse (tour)	Ecartement (m)	R (m)
1	0,5	3,6	3,6
2	0,5	3,5	7,1
3	0,5	3,4	10,5
4	0,5	3,3	13,8
5	0,5	3,2	17
6	1	3,1	20,1
7	1	3	23,1
8	1,5	2,9	26
9	2	2,8	28,8
10	2	2,7	31,5
11	2	2,6	34,1
11(+)	2	1,3	35,4
12	2	1,2	36,6
13	2	2,4	39
13 (+)	2	1,2	40,2
14	2	1,2	41,4
15	2	2,2	43,6
15(+)	2	1	44,6
16	1	1,1	45,7
17	1	1,2	46,9
18	1	0,8	47,7
19	1	1,5	49,2

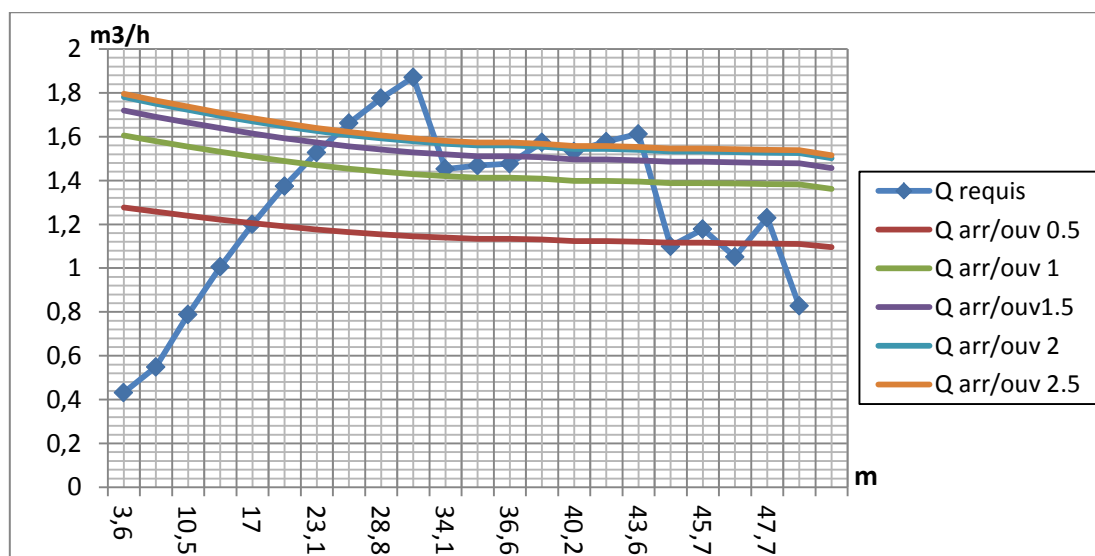


Figure 64: Simulation débit après réajustement de busage en fonction des sorties existantes et pompage à 2.0bar

↳ Réingénierie d'un nouveau plan de busage pour les nouveaux pivots

En ce qui concerne les futurs pivots, même ceux en cours de fabrication, nous pourrions franchir des niveaux plus élevés de performance avec ces règles de dimensionnement. Ceci est possible à travers un simple réajustement des écartements entre sorties sur la rampe, destinées à recevoir des arroseurs en plus dans des zones en sous-arrosage. Une telle réingénierie, que nous proposons, peut facilement être menée par l'artisan dans son atelier, puis par un simple réglage sur la parcelle, par des ouvertures de buses, que l'agriculteur peut facilement appliquer à l'aide d'un traçage préalable des segments, lui servant de repères (comme montré dans la figure 63). Nous proposons aussi un équipement de pompage (groupe motopompe ou pompe immergée) permettant d'assurer 2 bar à l'entrée du pivot. En partant de cette pression et de l'ensemble des paramètres d'entrée, nous avons ajusté le busage : d'abord l'écartement, de manière à maintenir le plus possible un Q_{req} dans la gamme des Q_{Ar} , puis nous avons choisis les ouvertures adéquates (tableau 19 et figure 65). Cela permet de réduire la portion des zones de sous arrosage à moins de 0.5 % de la surface. Aussi la zone de sur-arrosage sera réduite de 27.5 % jusqu'à 5 % de la surface totale.

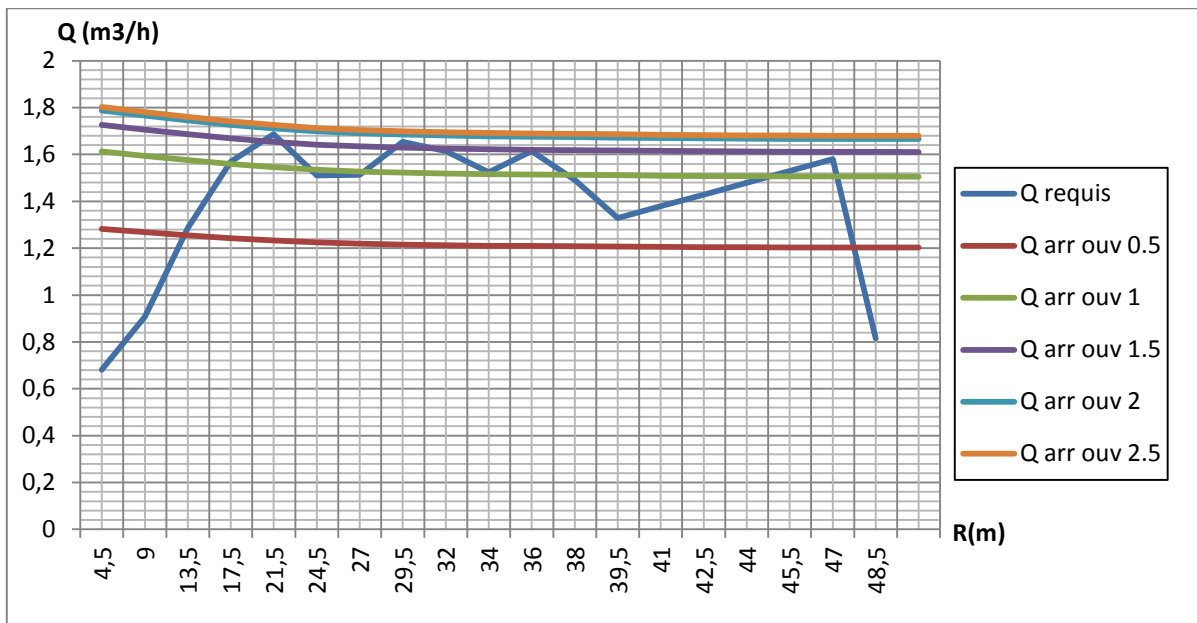


Figure 65: simulation débit pour les futurs pivots après réajustement de busage.

Tableau 19: Plan de busage proposé pour les nouveaux pivots

Arroseur	dr (écartement) (m)	R (rayon) (m)	Ouverture buse
1	4,5	4,5	0.5
2	4,5	9	0.5
3	4,5	13,5	0.5
4	4	17,5	1.5
5	4	21,5	2-2.5
6	3	24,5	1.5
7	2,5	27	1.5
8	2,5	29,5	2-2.5
9	2,5	32	2-2.5
10	2	34	2-2.5
11	2	36	2-2.5
12	2	38	1.5
13	1,5	39,5	1
14	1,5	41	1
15	1,5	42,5	1.5
16	1,5	44	1.5
17	1,5	45,5	2-2.5
18	1,5	47	2-2.5
19	1,5	48,5	2-2.5
20	0,5	49	2-2.5

En fin et après la réingénierie proposée, nous sommes passés à la reconstitution du profil pluviométrique le long de la rampe pour un pivot amélioré. Les figures 66 et 67 ainsi que les deux tableaux 20 et 21 montrent le progrès possible de la performance hydraulique du pivot artisanal. On observe en effet une remarquable économie d'eau et une amélioration considérable de la distribution pluviométrique. En comparant le profil de la pluviométrie in situ et simulée sous pivot, il ressort deux points importants :

- (i) la simulation permet d'obtenir pour 70% de surface totale une pluviométrie représentant 80 à 120% de la dose moyenne journalière (Dj). Ce chiffre est à comparer avec la valeur obtenue in situ qui n'atteint que 34% de la surface totale
- (ii) la simulation permet d'avoir une zone de moins de 12 % de la surface totale qui sera irriguée avec une pluviométrie de plus de 120% Dj, contre 22 % de la surface totale pour les mesures in situ.

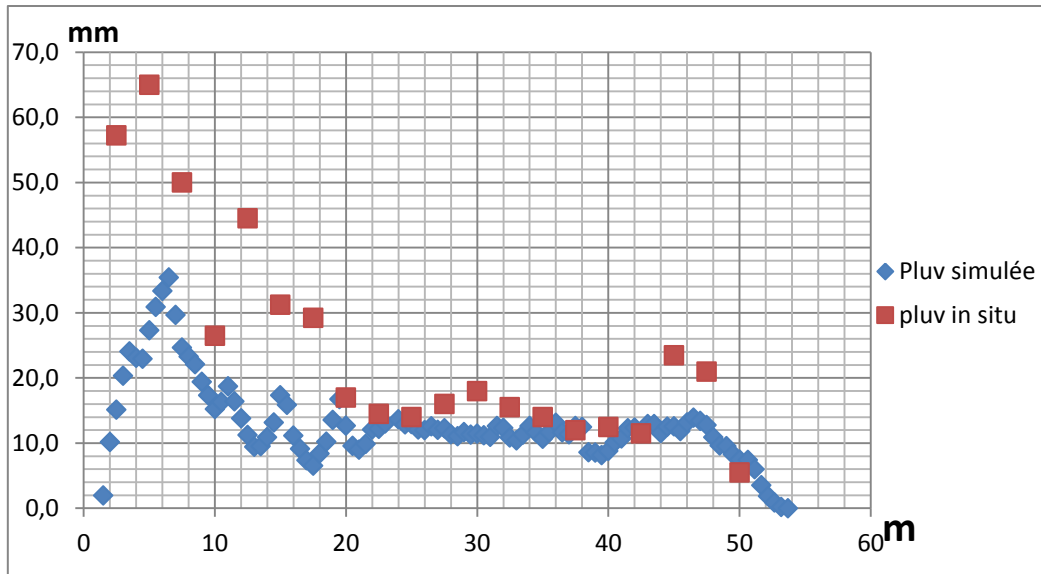


Figure 66: Profil pluviométrique in situ et simulée de la machine.

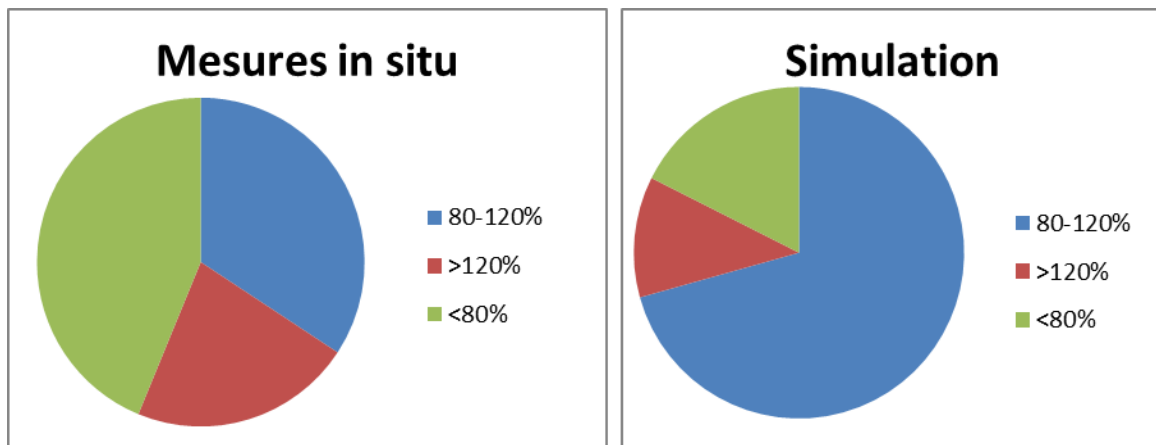


Figure 67: Comparaison entre pluviométrie in situ et simulée : ratios des rapports pluviométriques par rapport à la dose journalière.

Tableau 20: Portion pluviométrie en %Dj pour le cas in situ

% Dj	80-120%	>120%	<80%
Si (m ²)	2827	1811	3613
% S	34%	22%	44%

Tableau 21: Portion pluviométrie en %Dj pour le cas simulation.

% Dj	80-120%	>120%	<80%
Si (m ²)	6244	1041	1552
% S	70%	12%	18%

V.6 Conclusion

Dans le présent chapitre, nous nous sommes fixés comme objectif d'analyser la performance hydraulique du pivot artisanal dans une perspective de l'améliorer. L'évaluation à travers une première série de mesures in situ a montré un résultat encourageant pour le dispositif artisanal dans le sens qu'il est possible de l'améliorer. Des entretiens semi-directifs auprès d'un échantillon d'agriculteurs-utilisateurs et artisans-fabricants a permis la compréhension des pratiques et des logiques en rapport avec la performance du pivot. Les essais de comportement menés sur quelques arroseurs représentatifs dans un laboratoire spécialisé ont permis de les caractériser, puis de simuler un arroseur moyen en déplacement sur la rampe, puis de produire le profil pluviométrique de l'ensemble du pivot.

En comparant la performance simulée avec les mesures in situ, nous montrons qu'il est possible d'aboutir à une amélioration remarquable avec de légers ajustements et réglages, sans modifier la conception. Il convient de signaler ici qu'il est possible aussi de franchir une autre étape d'amélioration en intégrant des asperseurs plus perfectionnés et disposant d'une fiche technique. Ceux-ci sont coûteux, 4 à 5 fois le prix des microdiffuseurs utilisés actuellement, mais cela permettrait de standardiser le plan de busage. Tenant compte de la cohérence de notre démarche notamment d'être au service des acteurs locaux en faisant partie du processus d'innovation et sans trop modifier la conception et le matériel, de légers ajustements et réglages ont été privilégiés. Nos propositions destinées aux futurs ou anciens pivots déjà installés, sont explicites, souples et réalisables sur la parcelle et dans les ateliers. Elles répondent à un besoin immédiat des acteurs locaux d'amélioration de la distribution d'eau. En termes de perspectives cette amélioration de la distribution d'eau permet d'aboutir à d'autres avantages qui lui sont liés, en particulier :

- ✓ l'homogénéité du calibre de la pomme de terre sur toute la parcelle ;
- ✓ une économie d'énergie en appliquant une pression de 2 bar au lieu 3 ou 4 bar ;
- ✓ dans d'autres contextes, hors El Oued, mieux maîtriser le problème de salinité en apportant des doses de lessivage homogène au niveau de la parcelle ;
- ✓ d'intégrer d'autres accessoires au pivot artisanal en particulier des doseurs pour la fertigation et le traitement phytosanitaire. Le plan de busage proposé permettrait ainsi une chimigation plus homogène à l'échelle de la parcelle.

En dehors des spécificités du dispositif de pivot artisanal, nous recommandons à l'ingénieur à s'intéresser à la créativité exprimée par les acteurs de terrain « open innovation » et de mobiliser la plateforme publique pour appuyer et améliorer la performance. Pour ce faire, une

démarche multidisciplinaire s'avère nécessaire. Une entrée par les acteurs locaux, en nouant un dialogue sociotechnique avec eux, en plus des protocoles in situ représentent une étape cruciale afin de comprendre et d'analyser la performance hydraulique réelle de terrain pour améliorer la performance. Cela permettrait ainsi une meilleure visibilité de la performance aux décideurs et d'orienter les politiques du développement agricole vers la valorisation des innovations endogènes entre autres dans les domaines de l'irrigation et du machinisme.

[**Chapitre 6** : Conclusion générale]

VI. CHAPITRE VI CONCLUSION GENERALE

Parvenu au terme de ce travail de recherche, il convient de revenir sur la principale question qui l'a initié : comment concevoir et instrumenter une démarche d'ingénierie venant en appui aux dispositifs d'irrigation/acteurs locaux pour améliorer les performances d'irrigation ?

Nous avons traité cette question à travers l'exemple de pivot artisanal, en constituant un cadre d'analyse qui s'articule autour de trois axes. D'abord nous avons étudié le pivot tel qu'il est inséré dans son contexte agraire, en montrant comment il a accompagné le développement d'un bassin maraîcher en zone saharienne. Puis nous avons analysé le processus d'innovation locale et incrémentielle, qui a permis le développement d'un dispositif hydraulique robuste, adapté au contexte biophysique et socio-économique, et porté par un ensemble d'artisans locaux de différents corps de métier. Enfin, nous avons examiné les performances hydrauliques du pivot, *in situ* et sur le banc d'essai d'un laboratoire spécialisé, afin de proposer des voies d'amélioration.

En dehors des synthèses des résultats menés dans chaque conclusion spécifique, nous allons aborder les implications de nos principaux résultats ainsi que les perspectives de recherche. Nous allons citer, chemin faisant, les avantages et les vigueurs de ce dispositif. Ceci est fondé sur une analyse réelle de terrain, suivant les trois axes cités précédemment.

VI.1 Pivot artisanal : réponse à une crise hydraulique et non pas à l'origine de la crise

Nous avons d'abord démontré que le pivot artisanal est au cœur de la transformation récente de l'agriculture Saharienne dans le Souf, vérifiant ainsi l'hypothèse émise par Côte (2006) sur la mise en place d'un « *système pivot/pomme de terre* ». Ce dispositif a émergé dans le Souf comme réponse à une crise hydraulique par une mise en difficulté de l'ancien système des *ghouts*. Les créativité locales, mises en évidence dans cette thèse, sont donc, comme bien souvent, une solution à un problème (Osty et Landais, 1993 ; Papy, 1998 ; Naouri et al., 2019). Le pivot artisanal apparait dans une période où le Souf avait déjà perdu près de la moitié de son patrimoine phoenicicole dû à l'enneigement de la nappe phréatique induit principalement par le rejet dans cette nappe des eaux non-traitées d'origine domestique, issues des nappes profondes. C'est un phénomène relativement ancien qui remonte au milieu du XX^{ème} siècle, suite à la « *modernisation radicale* » du sud par la création de nouvelles villes et la mise en place de plantations modernes de la deglet nour (Bataillon, 1960). Cet auteur avait déjà observé en fin des années 1950, dès la réalisation de quelques forages profonds, les

premiers signes d'une remontée de la nappe phréatique dans quelques Ghouts au lieudit El Zougma à Guemar. Ces observations ont été confirmées plus tard quand une grande partie du patrimoine des ghouts a été touchée (Côte, 1998).

En réponse à cette crise hydraulique, les agriculteurs se sont de plus en plus orientés vers le maraîchage et des cultures fourragères sur des petites superficies à côté des ghout souvent ennoyés. Ce mode de production existait déjà bien avant le déclin des *ghout*, mais il s'est étendu : la petite parcelle de la culture associée dans le système des *ghout* devient donc le mode de production principale (Côte, 2006). L'irrigation était alors assurée par des motopompes et l'eau véhiculée à travers des séguias revêtues au plâtre. L'émergence du pivot, que nous avons retracé dans cette thèse, est la troisième innovation permettant d'expliquer les transformations agraires. Après l'apparition du bulldozer et de la motopompe, permettant l'agriculture en dehors des dépressions, le pivot miniaturisé, accessible au plus grand nombre, a permis, initialement, aux fellahs de surmonter la crise en facilitant l'irrigation des cultures alternatives. Suivant la proposition de Chauveau (1999), qui considère l'innovation comment une entrée pertinente dans « *l'analyse du fonctionnement et des transformations des agricultures et des sociétés rurales* », nous avons focalisé notre étude sur l'émergence du pivot accompagnant le développement d'un bassin maraîcher dans le Souf.

Les recettes générées par ce dispositif ont permis dans beaucoup de cas de replanter des vergers de palmier, contribuant ainsi à la reconstruction du patrimoine phoenicicole en surface. Cependant, ce dispositif a surtout attiré une jeune génération issue de l'exploitation agricole, et même des investisseurs originaires de la région, pour mettre en place une agriculture "entrepreneuriale", productiviste centrée autour de la production de pomme de terre, au sein ou en dehors de l'exploitation familiale. Nous avons montré le rapport instrumental des jeunes relatif à ce modèle d'agriculture et mis en évidence une relation étroite entre les divers projets personnels du jeune agriculteur et ce mode de production entrepreneuriale (Sutherland, 2009 ; Okali et Sumberg 2012 ; Singh et al., 2013 ; Petit et al., 2018). Cela induit parfois des tensions au sein d'une même exploitation, où cette génération rentre en conflit avec leurs aînés, qui visent à amoindrir le risque et l'assistance dans l'exploitation ainsi qu'une continuité avec l'agriculture ancestrale.

De plus, en analysant la trajectoire des agriculteurs utilisateurs de ce dispositif, nous avons mis en évidence une diversité de profils et de trajectoires, car son association avec la culture de pomme de terre a été à l'origine de l'intégration, de beaucoup d'entre eux, à l'activité agricole. Cela s'est surtout vérifié au moment de l'effondrement du prix de la pomme de terre

sur le marché en 2015 suite à une concurrence avec les producteurs du nord dans un contexte climatique spécifique (hiver doux). Les agriculteurs issus des familles cultivateurs (*fellah*), confortés par des stratégies et pratiques paysannes, ont jugulé la crise en diversifiant leurs cultures sous pivot et en limitant le risque de la production de pomme de terre. Nous concluons, de ce fait, que ce pivot est bien à l'origine d'un phénomène de '*Repaysannisation*' pour une catégorie d'agriculteurs dans le Souf (Van der Ploeg, 2014). En revanche, l'implication d'autres jeunes, usagers du pivot et sans ancrage agraire, reflète le fort intérêt économique et l'attraction des investisseurs ; le bénéfice d'une saison est équivalent à une masse salariale annuelle d'un ingénieur salarié dans la fonction publique. Ces jeunes ont adopté deux stratégies, très différentes de celles des *fellahs* : i) sortie de l'agriculture, en s'orientant vers d'autres activités économiques, et ii) attendre que la crise passe pour reprendre la production de pomme de terre sous pivot, tant que cela reste rentable.

Ce nouveau système est fondé sur le pompage dans la nappe profonde dont l'eau est peu renouvelable. Il est aussi intensif et conduit en monoculture ; plus de 40 tonnes de fiente de volaille et 50 quintaux de fertilisants chimiques sont apportés sur une parcelle sous pivot (1 ha). Il présente ainsi des risques de pollution et contribue à l'épuisement de la nappe. Cet épuisement est en outre entretenu voire favorisé par le drainage mis en place en 2011 pour limiter la remontée de la nappe phréatique. Ces aménagements évacuent les eaux de drainage en dehors de la zone de l'Oued Souf vers Oued Righ. Face à une diminution de la recharge et une augmentation des prélèvements, la nappe baisse inexorablement 1-2 m par an selon nos enquêtes, en fonction des zones. A ce propos, certains *fellahs* à Guemar nous ont révélé que dans le lieu-dit Emouiha Salah les agriculteurs ont dû déplacer leurs pivots ailleurs compte tenu de l'épuisement de la nappe. Un cadre de la DSA nous a confirmé ce phénomène. Il serait intéressant d'étudier ce cas, qui pourrait annoncer une nouvelle crise hydraulique à venir dans les autres zones de la région. Notre travail montre qu'il est possible avec le même dispositif hydraulique de mieux produire avec une économie d'eau. D'une part, il s'agira de bien adapter les choix du calendrier agricole et des systèmes de culture (par exemple, à travers la diversification des cultures) et les pratiques culturales. D'autre part, il serait opportun d'améliorer les performances d'irrigation pour diminuer les prélèvements.

VI.2 L'initiative locale : co-conception incrémentielle d'un dispositif hydraulique original et évolutif

A travers une analyse du processus d'innovation nous avons retracé la trajectoire de ce dispositif unique en mettant les acteurs locaux au centre de notre intérêt et en remontant jusqu'à l'innovateur. Nous avons expliqué comment le premier modèle a été conçu en septembre 1995 en s'inspirant du modèle du grand pivot. Les populations, les fabricants pionniers dans les communes Guemar et Reguiba, ainsi que les premiers agriculteurs-utilisateurs nous ont certifié le récit de cet innovateur. Nous infirmons, de ce fait, que l'émergence du pivot remonte à plus de 50 ans et qu'il est à l'origine du déclin du Ghout, comme avancé par Remini et Souaci (2018).

Partant du principe de domestication de Sørensen (2006), qui considère que la technologie implique la construction de répertoires collectifs et des référentiels de l'action, nous avons montré que l'initiative locale a fait preuve d'une capacité de dialogue continue avec des référentiels multiples pour concevoir un dispositif d'irrigation de plus petite taille qui répond aux ambitions d'une grande diversité d'agriculteurs. Des adaptations ont été apportées progressivement, durant 5 années, pour résoudre les multiples pannes et défis relevés à chaque fois sur le terrain. Le pivot est devenu plus robuste, de ce fait, et a été diffusé sous sa forme actuelle depuis l'an 2000. Cependant, même si ce modèle de pivot est le plus répandu dans le Souf, il n'est pas encore standardisé et continue d'être évolutif : le pivot voyage et s'adapte continuellement à de nouveaux contextes. Par exemple une entreprise Saoudienne ayant investi, au Soudan, dans les cultures fourragères sous modèle des grands pivots conventionnels, a fait appel à l'innovateur, par le biais d'un intermédiaire, pour lui fabriquer des pivots similaires à ceux du Souf. Cet innovateur a fait le voyage jusqu'au Soudan et a fabriqué un pivot artisanal, avec l'aide de deux ouvriers mis à sa disposition. Par manque d'un tourneur spécialisé dans la fabrication d'un modèle de réducteur de vitesse à vis, l'équipement du grand pivot a été adapté puis monté sur le pivot artisanal fabriqué. L'entreprise est toujours en contact avec cet innovateur et souhaite importer le modèle local de réducteur de vitesse ou encore faire appel à un tourneur compétent pour former ces ouvriers.

Nous avons démontré que le succès du pivot artisanal « miniaturisé » peut être expliqué par l'implication d'un grand nombre « alliés » dans le processus d'innovation (Akriche, 1988). Nous avons montré comment un réseau sociotechnique dense d'alliés d'innovation s'est construit, composés d'artisans, assurant la fabrication, l'installation et l'entretien des pivots, de commerçants, assurant la chaîne d'approvisionnement des pièces et équipements

nécessaires pour la fabrication, et d'agriculteurs, intéressés par le bon fonctionnement des pivots. Ceci rejoint l'analyse de Stewart (2007) qui considère l'implication des experts locaux comme un élément important dans le processus d'adaptation des nouvelles technologies. Les experts locaux sont aujourd'hui installés dans l'ensemble des zones de production, à proximité des utilisateurs pour répondre à leurs besoins ; une production en série pour un produit peu coûteux et livré rapidement, la vente à crédit, un entretien assuré, le déplacement des artisans pour la réparation et la livraison, une garantie de fonctionnement égale à une saison de pomme de terre, etc. Notre compréhension de cette innovation comme un processus incrémentiel de perfectionnement par une multitude d'intervenants de différents corps de métiers nous a encouragé à s'engager dans un dialogue avec certains acteurs du réseau sociotechnique dans la perspective d'en améliorer les performances hydrauliques.

VI.3 Une démarche en appui des acteurs locaux pour améliorer la performance : réécrire la grammaire de l'innovation

Dans le cadre de cette thèse, nous avons réussi à concevoir une démarche d'ingénierie pour améliorer la performance par un processus de négociation avec les acteurs de terrain, regroupés dans un réseau sociotechnique, pour répondre à la question principale.

Le premier intérêt de notre démarche réside dans un engagement fort : être au service de l'initiative locale. Pour réaliser cela, nous ne nous sommes pas isolés dans notre laboratoire avec les normes ISO, mais nous avons exploré le terrain et ses acteurs en analysant des pistes de recherches et postures engagées et en interrogeant la relation génie rurale / génie paysan (Pascon, 1980 ; Chaulet, 1984 ; Bouderbala, 1989). Il fallait décrypter la place du pivot dans les systèmes agraires, en forte recomposition, puis comprendre le processus d'innovation incrémentielle.

Le second est relatif aux voies d'amélioration que nous avons réussi à proposer. Sur la base d'une compréhension fine de l'hydraulique spécifique aux pivots, nous avons pu analyser les performances actuelles du pivot et identifier les voies d'amélioration (Molle, 1995 ; Molle, 1998 ; IRSTEA, 1999 ; Ezequiel et al., 2018).

Cependant, notre objectif était de rendre le dispositif plus performant et plus robuste et de suggérer des voies d'amélioration, en adéquation avec le contexte sociotechnique, en cohérence avec le processus d'innovation en cours sur le terrain (Benouniche et al., 2014) et dans un dialogue permanent avec les acteurs de terrain (Laib et al., 2018). Il s'agit des ajustements et réglages simples, souples, sans incidence financière et applicables sur le champ

et dans les ateliers sans en modifier profondément la conception. Cela permettra de réduire respectivement la surface sous-arrosée de 10 % et la surface sur-arrosée de 26 %. Aussi nos propositions portent sur une réduction de pression à 2 bar au lieu de la pression à 3 bar qu'on applique actuellement sur le terrain. Ceci permettra aussi une économie d'énergie, en plus de l'économie d'eau. Tout cela a été réussi grâce à l'analyse de ce dispositif selon les trois axes, qui a permis la compréhension des pratiques et des logiques en rapport avec la performance du pivot. Notre travail rejoint la posture de Cross et al. (2002) relative à l'importance d'une entrée par les réseaux sociotechniques associée à un suivi des pratiques et des récits d'acteurs « *permet de rendre visibles des relations sociales invisibles* » (Mahdi, 1993 ; Bouzidi et al., 2011).

Enfin, nous avons confirmé notre hypothèse i.e. la performance hydraulique du pivot artisanal peut être améliorée en s'appuyant sur une analyse pluridisciplinaire. Nous concluons à cet effet que l'innovation incrémentielle ne doit pas être mise à l'écart, par l'ingénieur et les services de l'Etat, mais elle doit être accompagnée et prise en considération dans les projets de développement. Ceci fait partie d'un processus de dialogue et de négociation, entre ingénieur et ces paysans. Notre position rejoint beaucoup de travaux menés sur l'échec des projets hydro agricole dans la région de la MENA, par exemple Bouderbala (1989) De Saint (1989) Kouzmine (2013), « *c'est à peu près le même constat d'échec l'Etat propose souvent à la paysannerie "généreusement des projets clos" dans lesquelles il n'y a rien à modifier et rien à négocier* » (Bouderbala, 1989).

VI.4 Perspectives et pistes de recherches

D'abord nous tenons à dire que les propositions d'ajustement que nous avons mis en avant sont à vérifier en tenant compte de deux aspects importants : i/ technique : en nous associant à un fabricant qui accepte d'apporter nos modifications puis de tester à nouveau la performance *in situ*, et ii/ sociale : en essayant d'apprécier, à travers une démarche participative, l'acceptabilité et l'analyse des agriculteurs et artisans de nos propositions. Malgré le fait qu'il s'agit de simples ajustements, nous postulons que les propositions du chercheur et/ou ingénieur doivent être apportées progressivement à travers un processus de négociation et de dialogue continu avec les alliés du réseau sociotechnique : concepteurs, commerçants, utilisateurs etc. Ceci va en contre sens de ce qui nous a été recommandé par certains chercheurs et ingénieurs, au cours de nos échanges à propos de notre sujet de recherche. Ils nous ont recommandé de standardiser le dispositif en intégrant des organes d'arrosages conventionnels autorégulant de plus de 10 m de portée, de régulateurs de

pression, etc... Nous considérons que cela permettra probablement de franchir un autre stade d'amélioration de performance hydraulique, mais son intégration dans le terrain de Souf, tel que nous l'avons analysé, n'est pas du tout garantie. Notre argument, à ce propos est le suivant : i/ revenir vers le verrouillage conventionnel est une suggestion techniquement « close » dans laquelle il n'y a rien à modifier et rien à négocier avec les alliés. Ceci pourrait nous ramener vers la complexité et l'échec des années 80. Partant du principe de « *l'art de l'intéressement* » de Akriche (1988) nous considérons qu'il faut prendre compte de la position et de l'avis des acteurs du réseau sociotechnique ii/Du point de vue économique ces équipements sont coûteux ; par exemple les sprays sont de 2 jusqu'à 4 fois plus chers que les microdiffuseurs utilisés ; les autres sont des accessoires qu'on trouve pas forcément sur les pivots conventionnels ; et iii/ le pivot artisanal est toujours dans un processus évolutif et il n'est pas encore stabilisé. Par exemple, suite à nos enquêtes nous avons observé sur le terrain de nouvelles adaptations :

- le pilotage du pivot à distance en se servant du téléphone mobile. Un des jeunes l'a amélioré en élaborant une application qui permet de piloter le pivot à distance par tablette suite à la demande de plusieurs agriculteurs ayant installés des pivots dans des terres lointaines au milieu de l'erg. Ceci justifie aussi que l'innovation incrémentielle intègre aussi les nouvelles technologies mais selon '*son intéressement*'.
- Aussi et comme nous l'avons déjà dit précédemment l'innovateur a été sollicité, à travers un intermédiaire, par une firme Saoudienne, ayant investi dans une agriculture capitaliste au Soudan, pour se déplacer produire et installer un pivot. Ceci a été fait en intégrant des nouveaux composants appropriés compte tenu du manque des compétences sur ce terrain en particulier les tourneurs. A cet effet, les innovations incrémentielles évoluent et voyagent. Il serait intéressant d'appliquer la démarche élaborée pour étudier cela de près.

Une autre réflexion serait d'appliquer notre démarche pour diminuer les impacts environnementaux des pivots, notamment en ce qui concerne le recyclage des pivots abandonnés ou ayant dépassé leur durée de vie, l'apport excessif en intrants, l'intensification monocultural et la surexploitation des ressources en eau et des sols. Par exemple un doseur servant la chimigation (traitement phytosanitaire et fertigation), les doses de lessivage pour lutter contre la salinité...etc., sont des options qui peuvent être intégrées dans le fonctionnement du pivot artisanal. Les artisans pourrons par exemple concevoir des

accessoires appropriés suivant la demande et l'ingénieur pourra appuyés les utilisateurs (agriculteurs) dans les calendriers des apports et traitement.

En matière de production il est impératif de mobiliser les producteurs sensibles aux questions environnementales et actifs dans une démarche de diversification de la production pour la conservation des ressources et réduire les risques du marché. D'autres aspects qui n'ont pas été pris en considération pourront faire l'objet de d'autres travaux de recherche notamment : l'effet de vent, faisabilité de l'intégration des nouveaux accessoires pour valoriser l'usage du pivot tel que le doseur de fertilisant et le traitement phytosanitaire.

Enfin nous recommandons que la plateforme publique doit être mobilisée en faveur de l'initiative locale, en mettant l'incrémentielle au centre d'intérêt dans les projets de développent. Ceci permettra à l'ingénieur d'appuyer les acteurs locaux à travers notre démarche. L'ingénieur doit rentrer dans un processus de négociation continu avec les acteurs locaux qui prennent en considération ces intéressements, tout en conservant les compétences techniques.

[Références bibliographiques]

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aït Houssa A, Bouslama A, Baraka M, El Midaoui M, Benbella M, 2009. L'utilisation du centre pivot pour l'irrigation: expérience des Domaines Agricoles du Maroc, Transfert de technologie en agriculture. Bulletin Mensuel de Liaison et d'Information du PNTTA, N°177- Juin 2009.
- Akrich, M, Callon, M, & Latour, B, 1988. A quoi tient le succès des innovations? 1: L'art de l'intéressement; 2: Le choix des porte-parole. In *Gérer et comprendre. Annales des mines* (No. 11 & 12, pp. 4-17).
- Ameur F, Hamamouche M F, Kuper M, Benouniche M, 2013. La domestication d'une innovation technique : la diffusion de l'irrigation au goutte-à-goutte dans deux douars au Maroc. *Cahiers Agricultures* 22 : 311-8. doi : 10.1684/agr.2013.0644.
- 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. *Cahiers Agriculture* 24 : 11-19. doi : 10.1684/agr.2015.0736
- Amichi H, Kadiri Z, Bouarfa S, Kuper M, 2015. Une génération en quête d'opportunités et de reconnaissance : les jeunes ruraux et leurs trajectoires innovantes dans l'agriculture irriguée au Maghreb. *Cahiers Agriculture* 24: 323-329. doi : 10.1684/agr.2015.0791.
- Amichi H, Jamin J-Y, Morardet S, Gharbi I, Azizi A, Faidani F, Ghileb M, Marlet S, Elloumi M, 2016. Le rôle du faire valoir indirect dans le renouvellement générationnel des agriculteurs irrigants en Tunisie. *Cahiers Agriculture* 25: 35004.
- Baron, G-L, 2005. Les TICE, de l'innovation à la scolarisation : problèmes et perspectives. Colloque de l'Association des formateurs TICE, réseau national, AFT-RN (janvier 2005). http://aft-rn.net/actes_colloque05/conferences/conference_GL_Baron.pdf.
- Bataillon C, 1960. Ressources et vie de relation du Sahara : l'exemple du Souf. *Annales de Géographie* 69 (375) : 493-507. doi: 10.3406/geo.1960.14732.
- Bataillon C, 1963. Nomades et nomadisme au Sahara. UNESCO, Paris, pp. 113-120.
- BENEDER, 2018. Etude de faisabilité technico – économique de mise en valeur des terres par la concession périmètre El Azdihar à El Oued. 114 p.
- Benmihoub A, 2015. Modélisation du comportement des agriculteurs en situation de risque sur le revenu. Cas des producteurs de la pomme de terre. Thèse de doctorat en sciences agronomiques, Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Alger, 157 p.
- Benouniche M, Kuper M, Poncet J, Hartani T, Hammani A, 2014. Quand les petites exploitations adoptent le goutte-à-goutte : initiatives locales et programmes étatiques. *Cahier Agriculture* 20: 40-7. doi: 10.1684/agr.2011.0476.
- Benouniche M, Kuper M, Hammani A., Boesveld H, 2014. Making the user visible: analyzing irrigation practices and farmers logic to explain actual drip irrigation performance. *Irrigation Science* 32:405–420. doi: 10.1007/s00271-014-0438-0.
- Benouniche M, Errahj M, Kuper M, 2016. The Seductive Power of an Innovation: Enrolling Non-conventional Actors in a Drip Irrigation Community in Morocco, *The Journal of Agricultural Education and Extension* 22 (1): 61-79. doi:10.1080/1389224x.2014.977307.

- Bensada A, 2005. Eau, urbanisation et mutations sociales dans le Bas-Sahara. La ville et le désert, Côte M (dir.), Paris, Karthala-IREMAM, pp. 95-119.
- Bensaâd, A, 2011. L'eau et ses enjeux au Sahara. Paris : KARTHALA.
- 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.
- Bisson J, 2003. Mythes et réalités d'un désert convoité, le Sahara. Paris: Le Harmattan. 480 p.
- 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.
- Bouzidi Z, Abdellaoui EH, Faysse N, Billaud JP, Kuper M, Errahj M, 2011. Dévoiler les réseaux locaux d'innovation dans les grands périmètres irrigués. Cahier Agriculture 20: 34-9.doi: 10.1684/agr.2011.0471
- Chaulet C, 1987. La terre, les frères et l'argent: stratégie familiale et production agricole en Algérie depuis 1962 (3 vol). Office des publications universitaires.
- Chauveau JP, Cormier-Salem MC et Mollard E, 1999. L'innovation en agriculture. Question de méthodes et terrains d'observations. Paris : IRD. 361p.
- Cemagref, 1999. Sub model for large size fields irrigated by pivot systems. Scientific report « NIWASAVE ». 19 p.
- Cemagref, 2003. Guide pratique d'irrigation, 3ème ed. France : Quae 342 p.
- Cross R, Borgatti SP, Parker A, 2002. Making invisible work visible: using social network analysis to support strategic collaboration. Calif Manage Rev 44: 25-46.
- Côte M, 1998. Des oasis malades de trop d'eau ?. Science et changements planétaires/Sécheresse 9(2) : 123-130.
- Côte M, 2006. Si le Souf m'était conté. Constantine : média plus.135 p.
- Daoudi A, Colin JP, Derderi A, Ouendeno ML. 2015. Mise en valeur agricole et accès à la propriété foncière en steppe et au Sahara (Algérie). Montpellier: Les Cahiers du Pôle Foncier .34 p.
- Daviault L, 1974. Le Souf (sud Constantinois). La bibliothèque de travail 53 : 3-32. <https://www.icem-freinet.fr/archives/bt/bt53/bt53.pdf>.
- Derderi A, Daoudi A, Colin JP, 2015. Les jeunes agriculteurs itinérants et le développement de la culture de la pomme de terre en Algérie L'émergence d'une économie réticulaire. Cahiers Agriculture 24 : 387-395. doi : 10.1684/agr.2015.0784.
- Despois J, 1958. Le Souf et le Gourara (Sahara). Annales de Géographie 67 (361) : 263-264. http://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1958.
- Dubost D, Larbi Y, 1998. Mutations agricoles dans les oasis algériennes : l'exemple des Ziban. Sécheresse 9(2):103-10.
- Edquist C, 2005. "Systems of Innovation." In The Oxford Handbook of Innovation, edited by J. Fagerberg, D. C. Mowery, and R. R. Nelson, 181–208. New York: Oxford University Press.

- Ezequiel S, De Camargo AP, Botrel T B, Frizzone J A, Koech R, Molle B, 2018. Test methods for characterising the water distribution from irrigation sprinklers: Design, evaluation and uncertainty analysis of an automated system. *Biosystems engineering* 169: 42-56. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.01.011>.
- Faure G, Chiffolleau Y, Goulet F, Temple Let Touzard JM, 2018. Innovation et développement dans les systèmes agricoles et alimentaires. France : Quae p. 163-165.
- Fofack Tsabou RL, 2018. La société des eaux cachées du Saïss : l'analyse d'un basculement autour de l'extraction des eaux souterraines profondes au Maroc, thèse doctorat, Université Paris Nanterre, France. 285 p.
- Guillermou Y, 2011. Entre approche du monde paysan et expertise : Quelle place pour une anthropologie du développement rural ? *Journal des anthropologues* 3-4 (126-127) : 119 à 140
- Hamamouche, M.F., Kuper, M., Lejars, C., 2015. Émancipation des jeunes des oasis du Sahara algérien par le déverrouillage de l'accès à la terre et à l'eau. *Cahier Agriculture* 24 : 412–419. doi:10.1684/agr.2015.0777.
- 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. Thèse doctorat. Agro Paris Tech, France. 198 p.
- Hanafi S, 2011. Approche d'évaluation de la performance des systèmes irrigués à l'échelle des exploitations agricoles. Cas du périmètre irrigué de Borj Toumi (vallée de la Medjerda-Tunisie). Thèse doctorat. Agro Paris Tech, France. 92 p.
- Lejars, C, Daoudi A, Amichi H, 2017. The key role of supply chain actors in groundwater irrigation development in North Africa. *Hydrogeology Journal* 25 (6) : 1593-1606. doi10.1007/s10040-017-1571-7.
- Idda S, 2019. 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). Université d'Oron 2, Algérie. 244 p.
- Institut National d'Irrigation et Drainage (INSID), 2011. Carte d'occupation des sols d'Algérie.
- Laib K, Hartani Tarik, Bouarfa S, Kuper M, Maihol J C, 2018. Connecting drip irrigation performance to farmers' practices: the case of greenhouse horticulture in the Algerian Sahara. *Irrigation and Drainage* 67 (3): 392-403. <https://doi.org/10.1002/ird.2228>.
- Lehuraux L, 1934. Le Sahara ses oasis. Alger : Baconnier. 202 p.
- Khechana S, 2008. Etude de la gestion intégrée des ressources en eaux dans la vallée d'Oued Souf (Sud-Est algérien). Thèse magister, université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie. 131p.
- Knickel K, Brunori G, Rand S, Proost J, 2009. Towards a Better Conceptual Framework for Innovation Processes in Agriculture and Rural Development: From Linear Models to Systemic Approaches." *Journal of Agricultural Education and Extension* 15 (2): 131–146. <https://doi.org/10.1080/13892240902909064>.
- MacLeod WB, 2007. Reputations, relationships and contract enforcement. *J Econ Literat* 45(3):595–628. DOI: 10.1257/jel.45.3.595.

- Mahdi M, 1993. Innovation et système social. Options méditerranéennes 2 : 17-30. https://www.academia.edu/5638776/Innovation_et_syst%C3%A8me_social.
- Mazoyer M, 1985. Systèmes agricoles et développement agricole. Paris, France, Institut National Agronomique Paris-Grignon. In Cochet H, 2011. Origine et actualité du « système agraire » : retour sur un concept. *Revue Tiers Monde* 207 : 97-114.
- Messekher I, Menani MR, 2010. Evolution de la piézométrie de la ville d'Oued Souf (Entre 1993, 2002 et 2007): Perspectives de la maîtrise du phénomène de remontée de la nappe phréatique. *J Int Net Env Manag Confl* 1:259–266. <http://annalsreview.geo.unibuc.ro/2012/Ishak.pdf>
- Meziani A, Meziani S, Dridi H, Kalla, 2009. La remontée des eaux profondes dans le Souf-Sahara Algérien : conséquence de la mauvaise gestion des ressources souterraines. Actes du colloque international : énergie, changement climatique et développement durable, Djerba, (15-17 Juin 2009), Tunisie, 8 p.
- Molden D J, Sakthivadivel R, 1999. Water accounting to assess use and productivity of water. *Water Res Devel.* 15 : 55–71.
- Molle B, Denis B, Sam H, 1998. Choix du busage et conduite de l'irrigation par pivots -Prise en compte de la capacité d'infiltration du sol. *Irrigazette* 43 (13): 57-69.
- M'sadak Y, Manai A, El Jandoubi N, Hamza M E, 2017. Diagnostic de fonctionnement d'une rampe frontale adoptée dans une grande exploitation irriguée du Nord-Ouest Tunisien. 5 (3):343-349.
- Messekher I, Chabour N, Menani MR, 2010. Remontée de la nappe phréatique du Souf. *Annales de l'université Bucaresti, Roumanie*, 1(1) : 259-266.
- Naouri, M., Hartani, T., Kuper, M., 2017. The “innovation factory”: user-led incremental innovation of drip irrigation systems in the Algerian Sahara, in: Venot, Jean-P V, Kuper M, Zwarteveen, M (Eds.), *Drip Irrigation for Agriculture: Untold Stories of Efficiency, Innovation and Development*. Taylor & Francis, pp. 266–283.
- Naouri M, Hartani T, Kuper M, 2015. Mobilités des jeunes ruraux pour intégrer les nouvelles agricultures sahariennes (Biskra, Algérie). *Cahier Agriculture* 24 (6) : 379-386. <https://doi.org/10.1684/agr.2015.0778>.
- Office National de la Météorologie (ONM), 2012. Bulletins mensuels de relevés des paramètres climatologiques en Algérie de 1992 à 2012. Centre Climatologique National (CCN), Dar El Beïda, Alger.
- Okali C, Sumberg J, 2012. Quick Money and Power: Tomatoes and Livelihood Building in Rural Brong Ahafo, Ghana *IDS Bulletin* 43 (6): 44-57.
- Otmane T, Kouzmine Y, 2013. Bilan spatialisé de la mise en valeur agricole au Sahara algérien. *Cybergeo : European Journal of Geography. Espace, Société, Territoire* 632. <http://cybergeo.revues.org/25732>.
- Otmane T, 2016. L'eau dans les oasis du Sud-ouest algérien : les systèmes de mobilisation traditionnels entre préservation et décrépitude. Alger : CRASC Algérie. p. 197-218.
- Ortiz O, Orrego R, Pradel W, Gildemacher P, Castillo R, Otiniano R, Kahiu I, 2013. “Insights into Potato Innovation Systems in Bolivia, Ethiopia, Peru and Uganda.” *Agricultural Systems* 114: 73–83.

- OSS, 2003. Système aquifère du Sahara Septentrional. Une conscience de bassin. Hydrogéologie. http://www.ossonline.org/sites/default/files/fichier/ii_hydrogeologie.pdf.
- Ould Rebai A, 2015. Diagnostic et cratérisation des pivots artisanaux dans la vallée d'El Oued. Thèse Magister, Université de Khemis Miliana, Algérie 101 P.
- 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). Cahier Agriculture 26: 35005. DOI: 10.1051/cagri/2017024.
- Pascon P, 1980. Les rapports entre l'Etat et la paysannerie. Études rurales: idées et enquêtes sur la campagne marocaine. Société marocaine des éditeurs réunis, 3-6.
- Parmentier G, 2009. Innover avec des communautés d'utilisateurs. Thèse doctorat. Université de Grenoble, France. 230 p.
- Petit O, Martin V, Kuper M, Ameer F, Papin-Stammose C, 2015. Worker, Peasant or Entrepreneur? Analysis of the entrepreneurial logics and practices of family farmers in agrarian reform cooperatives in the Saïss (Morocco). ICID 2015, 26th Euro-mediterranean Regional Conference and Workshops « Innovate to improve Irrigation performances », 12-15 October 2015, Montpellier, France.
- Petit O, Kuper M, Ameer F, 2017. From worker to peasant and then to entrepreneur? Land reform and agrarian change in the Saïss (Morocco). World Development 105: 119–131. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2017.12.031>
- Remini B, 2006. La disparition des ghouts dans la région d'el oued (Algérie). Larhyss Journal 5 : 49-62.
- Remini B, Souaci BE, 2019. Le Souf : quand le forage et le pivot menacent le ghout!. Larhyss Journal 37 : 23-38.
- Roussy C, Ridier A, Chaïb K, 2015. Adoption d'innovations par les agriculteurs: rôle des perceptions et des préférences. France: INRA, 25p.
- Singh AP, 2013. Factors influencing entrepreneurship among farming community in Uttar Pradesh. Researchers World -Journal of Arts, Science & Commerce 4 (3): 114-121.
- Sørensen KH, 2006. Domestication: the enactment of technology. In: Berker T, Hartmann M, Punie Y, Ward K J, ed. Domestication of Media and Technology. London : Open University Press.
- Stewart J, 2007. Local experts in the domestication of Information and Communication Technologies. Information, Communication & Society 10:547-69.
- Schumpeter, JA, 1934. Change and the Entrepreneur. Essays of JA Schumpeter.
- Sumberg J, Anyidoho NA, Leavy J, Lintelo DJ, Wellard K, 2012. Introduction: The young people and agriculture 'problem' in Africa. IDS Bulletin, 43(6), 1–8.
- Sutherland L-A, 2010. Differentiating farmers: opening the black box of private farming in post-Soviet states. Agriculture and Human Values 27(3): 259-276. <https://doi.org/10.1007/s10460-009-9212-y>
- Tanji KK, Keyes CG, 2002. Water quality aspects of irrigation and drainage: past history and future challenges for civil engineers. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 128(6):332–340. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2002\)128:6\(332\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2002)128:6(332))

- Toutain G, Dollé V, Ferry M, 1990. Situation des systèmes oasiens en régions chaudes. In : Dollé V, Toutain G, 1990. Les systèmes agricoles oasiens. Montpellier: CIHEAM. p. 7-18.
- Van der Kooij S, Zwarteveen M, Boesveld H, Kuper M, 2013. The efficiency of drip irrigation unpacked. *Agricultural Water Management* 123:103–110.
- Van der Ploeg J, 2008. *The new peasantries: Struggle for autonomy and sustainability in an era of empire and globalization*. London: Earthscan.
- Van Schilfgaarde J, 1994. Irrigation a blessing or a curse. *Agricultural Water Management* 25(3):203–219.
- Wennekers, S, Thurik R, 1999. Linking entrepreneurship and economic growth. *Small Business Economics*, 13, 27–55.
- Yan H, Jin H, Qian Y, 2010. Characterizing center pivot irrigation with fixed spray plate sprinklers. *Sci China Tech Sci*, 53 (5): 1398-1405doi: 10.1007/s11431-010-0090-8.
- Zella L, Smadhi D, 2006. Gestion de l'eau dans les oasis algériennes. *Larhyss Journal*. 5 : 149-156.

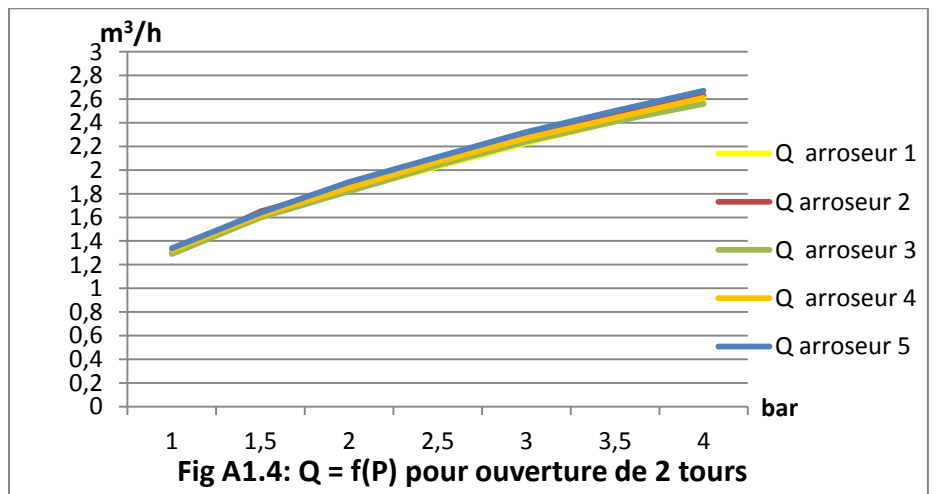
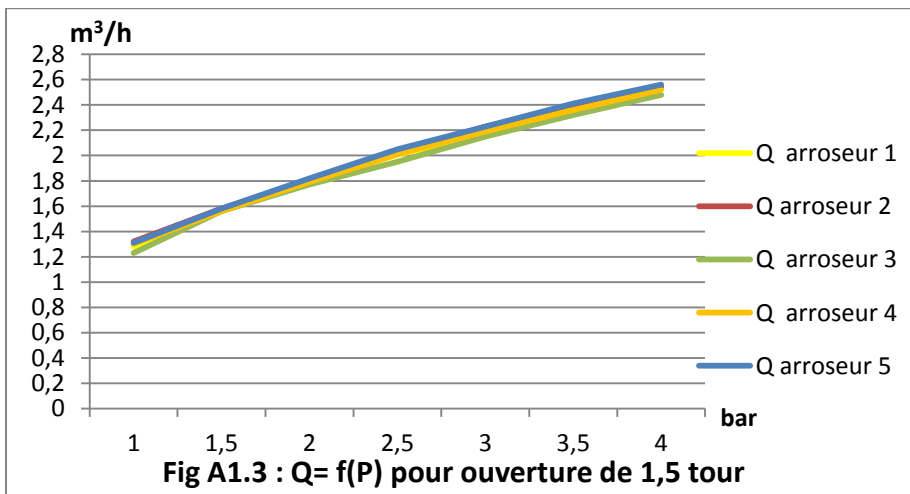
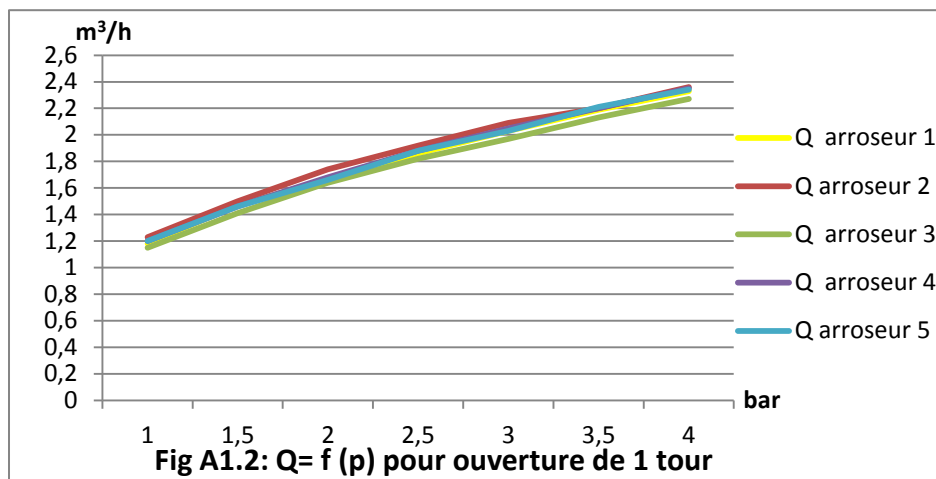
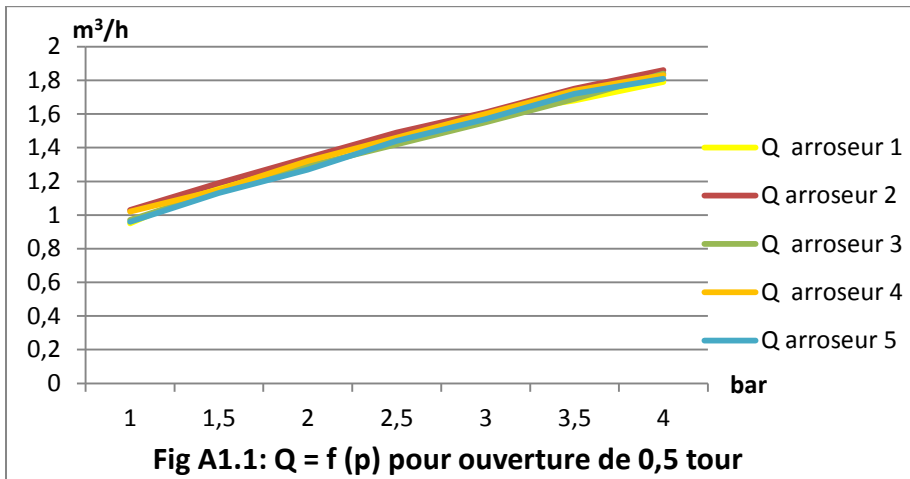
[Annexes]

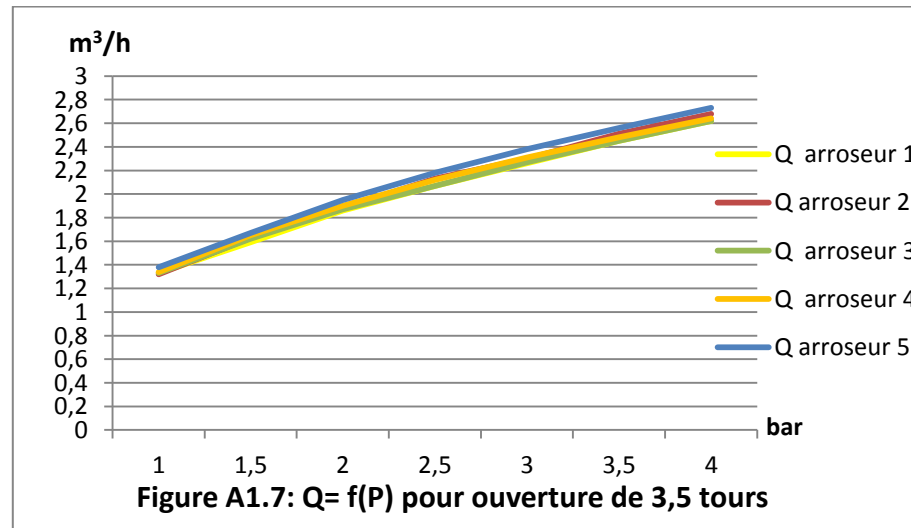
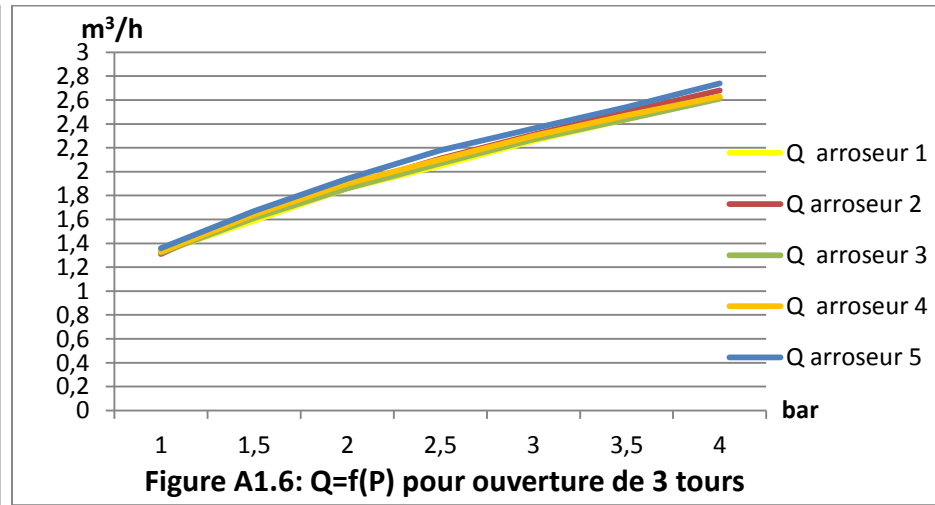
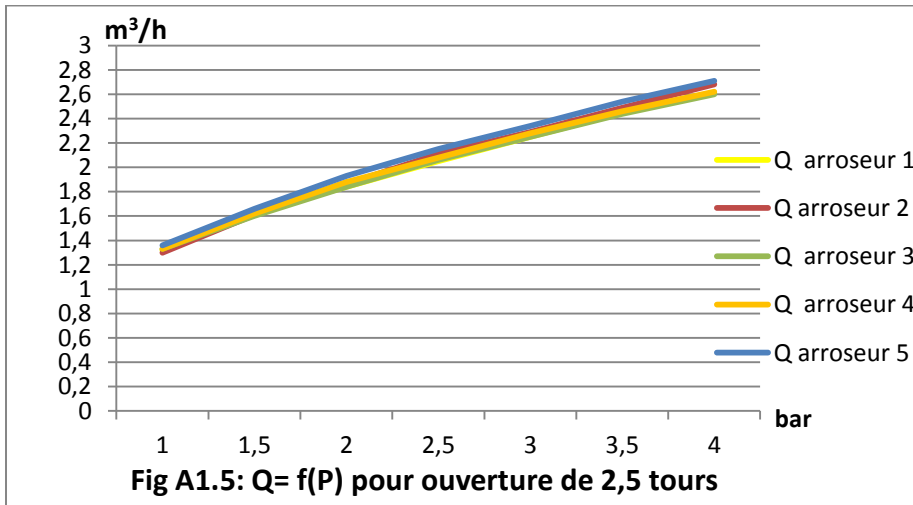
ANNEXES

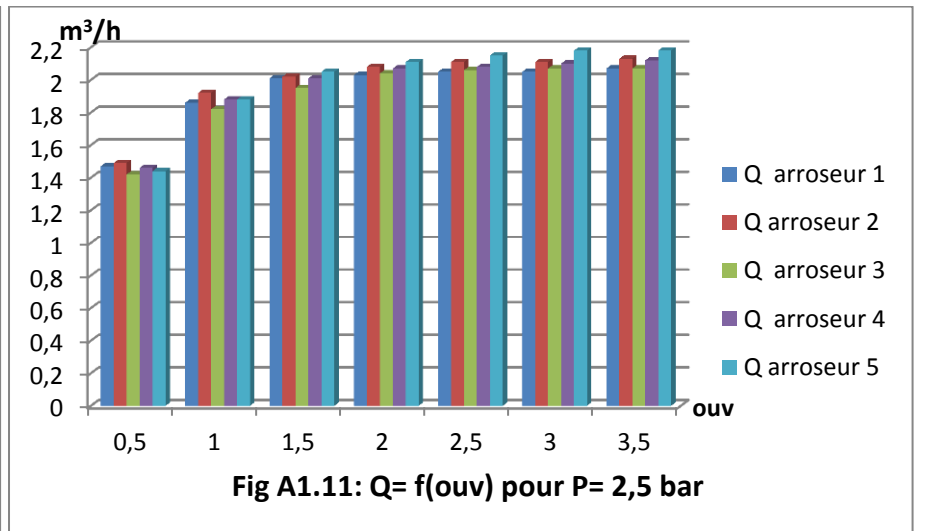
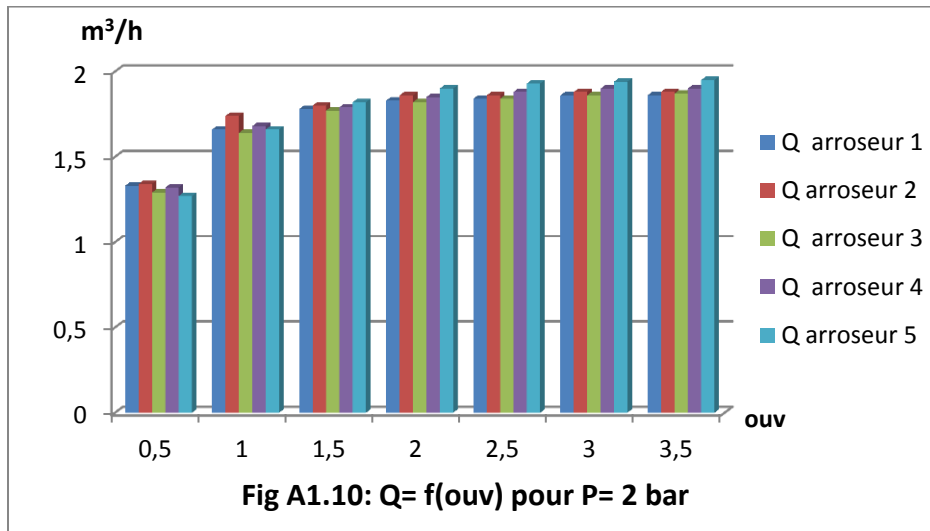
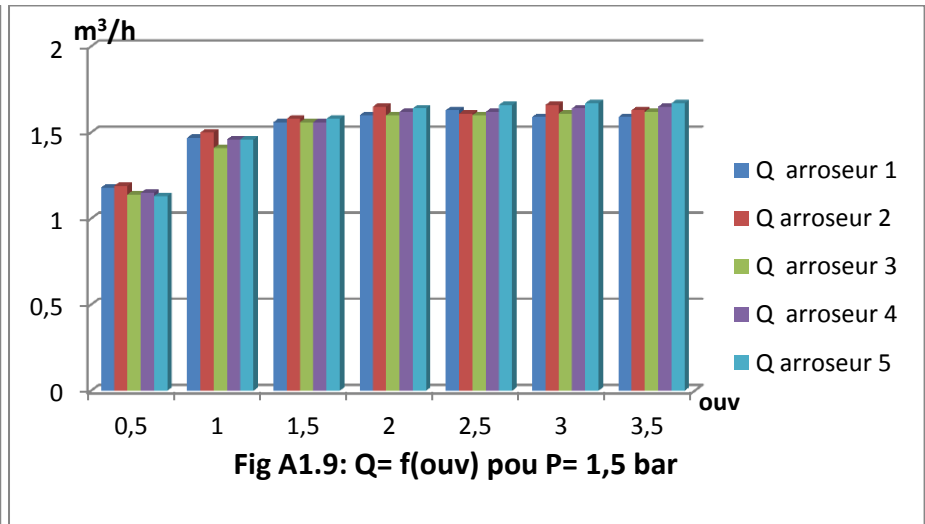
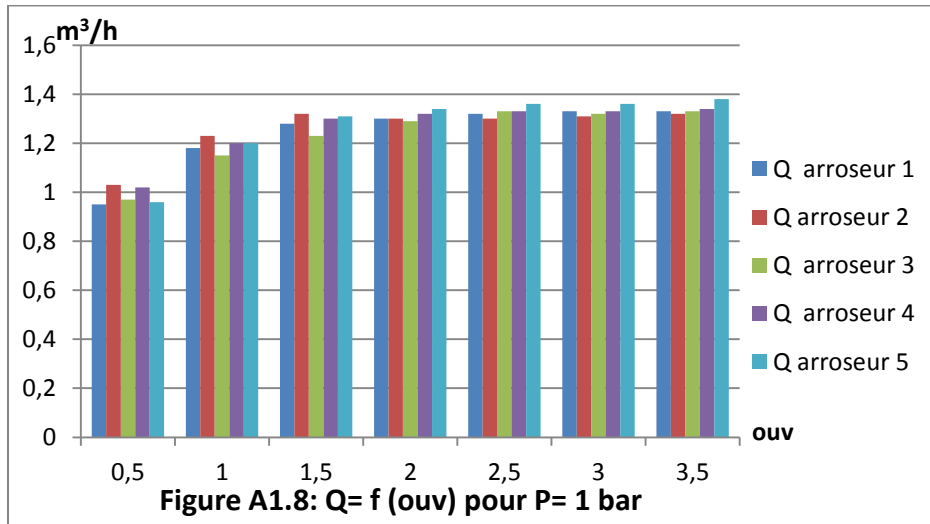
Annexe 1 : Deuxième série de mesures - Essai débit-pression.

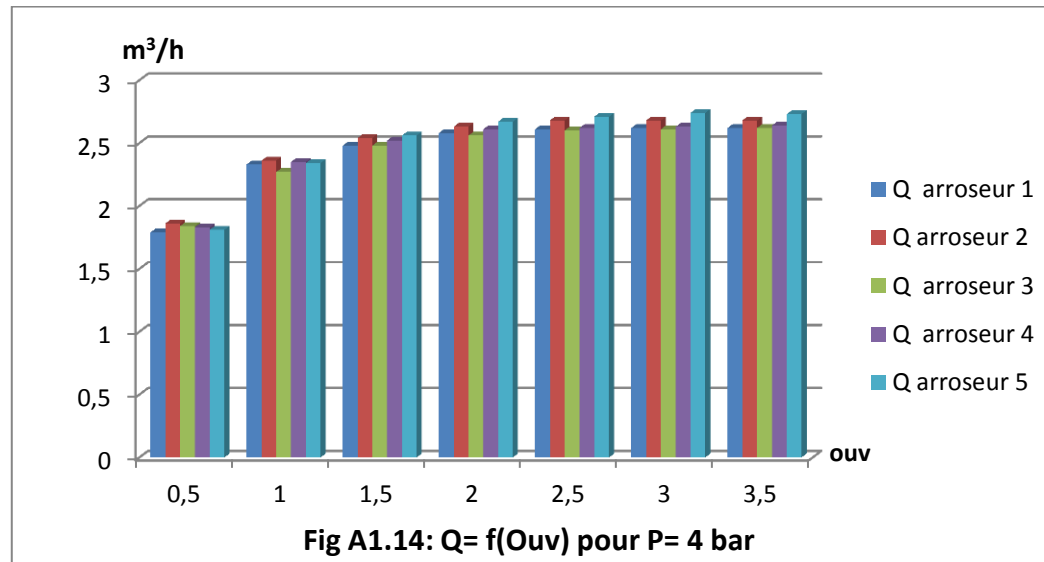
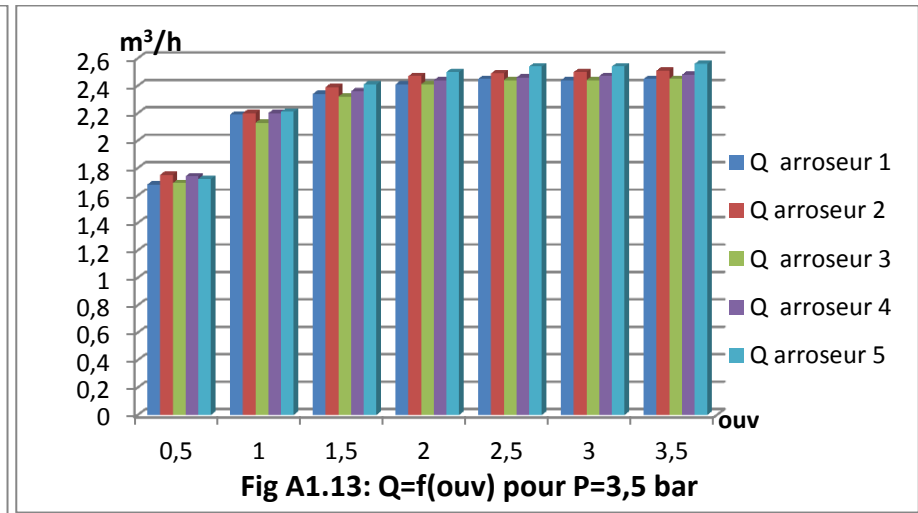
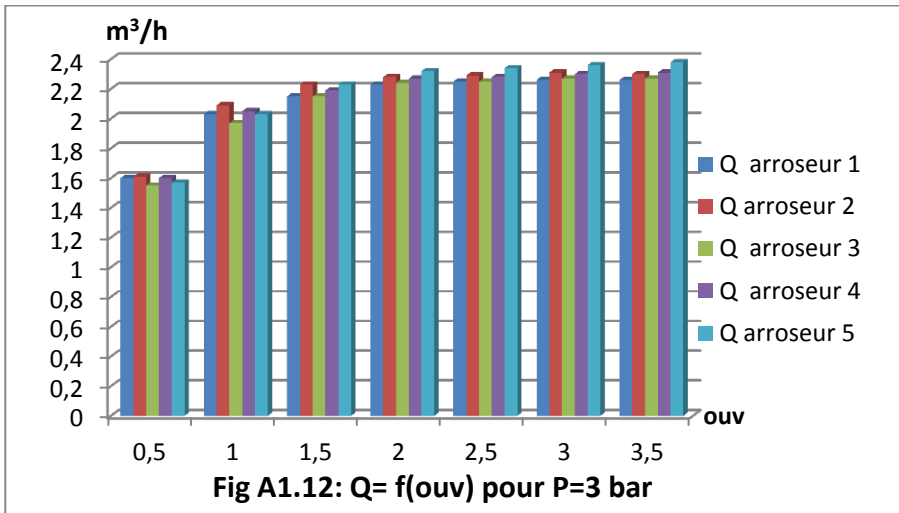
Tableau A.1.1 : Validation de la série des résultats des essais débit-pression en calculant le R

R					
3,65	-4,46	1,62	-3,45	2,64	
-1,90	-2,76	1,55	0,69	2,42	
-1,53	-2,29	1,53	-0,76	3,05	
-0,96	-2,34	2,47	-0,27	1,10	
-0,88	-1,51	2,27	-0,88	1,01	
2,10	-1,98	1,52	-1,40	-0,23	
1,97	-1,86	-0,77	-0,22	0,88	
1,01	-3,19	3,52	-0,67	-0,67	
-0,68	-2,74	3,42	0,00	0,00	
0,95	-3,82	2,15	-0,24	0,95	
0,64	-2,56	2,78	-0,43	-0,43	
0,20	-2,75	3,15	-0,79	0,20	
-0,18	-0,64	2,56	-0,64	-1,10	
0,00	-1,29	2,58	-0,86	-0,43	
0,62	-2,48	4,50	-0,93	-1,71	
0,51	-0,77	0,51	0,51	-0,77	
0,67	-0,45	1,23	0,11	-1,56	
-0,10	-0,60	2,89	-0,10	-2,09	
1,83	-1,83	1,83	0,00	-1,83	
1,02	-1,10	1,86	0,17	-1,95	
1,43	-0,95	1,43	-0,16	-1,75	
0,76	0,76	1,53	-0,76	-2,29	
1,36	-1,73	1,36	0,12	-1,11	
1,19	-0,43	1,73	0,11	-2,59	
1,74	-0,68	1,26	-0,19	-2,13	
1,68	-0,53	1,23	-0,09	-2,29	
1,47	-0,98	1,47	0,25	-2,21	
1,15	-0,77	1,92	0,00	-2,30	
0,60	2,11	-0,15	-0,15	-2,41	
-0,37	0,86	1,48	0,25	-2,22	
1,60	0,53	1,60	-0,53	-3,21	
1,91	-0,96	1,44	0,48	-2,87	
1,40	-0,35	1,40	0,09	-2,54	
1,05	-0,57	1,45	0,65	-2,58	
1,29	-1,36	1,66	0,91	-2,50	
0,00	1,50	0,75	0,00	-2,26	
2,69	-1,59	1,47	-0,37	-2,20	
1,48	0,42	1,48	-0,64	-2,75	
2,47	-0,38	1,52	0,10	-3,71	
1,74	-0,43	1,30	0,00	-2,61	
1,53	-0,89	1,53	0,32	-2,50	
1,36	-0,90	1,73	0,98	-3,16	
0,75	1,49	0,75	0,00	-2,99	
2,57	0,12	0,74	-1,10	-2,33	
1,69	0,63	1,16	-0,42	-3,07	
2,08	-0,76	2,08	-0,28	-3,12	
1,91	0,17	1,48	-0,26	-3,30	
1,61	-0,80	1,61	0,40	-2,81	
1,43	-0,83	1,43	0,68	-2,71	









Annexe 2 : Troisième série de mesures -Essai pluviométrie

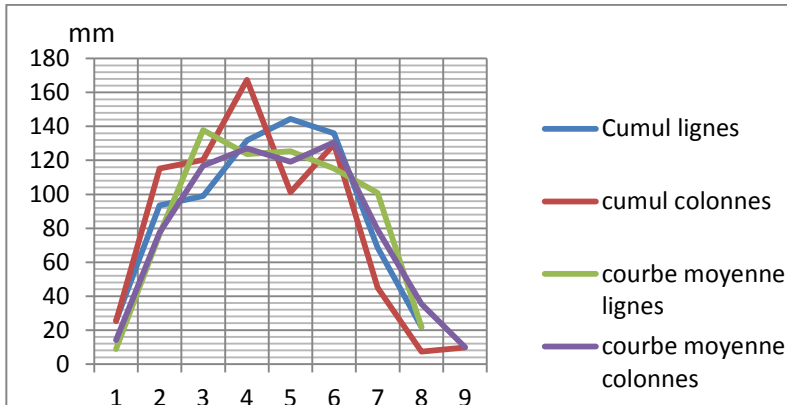


Fig A2.1: pluviométrie arroseur 01 pour (ouverture 2.5, P 2bar)

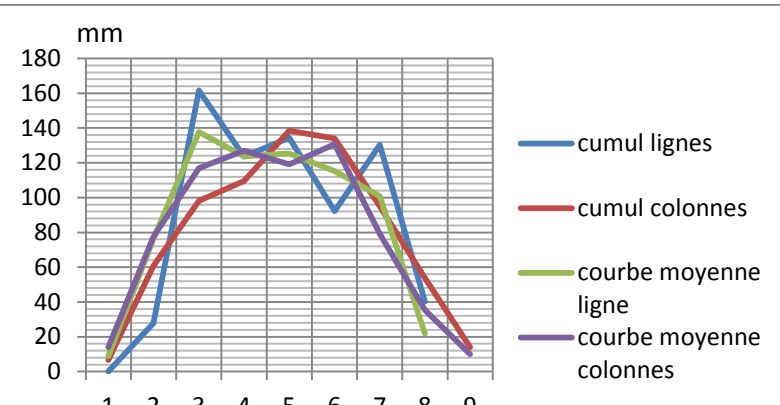


Fig A2.2: pluviométrie arroseur 02 pour (ouverture 2.5, P2bar)

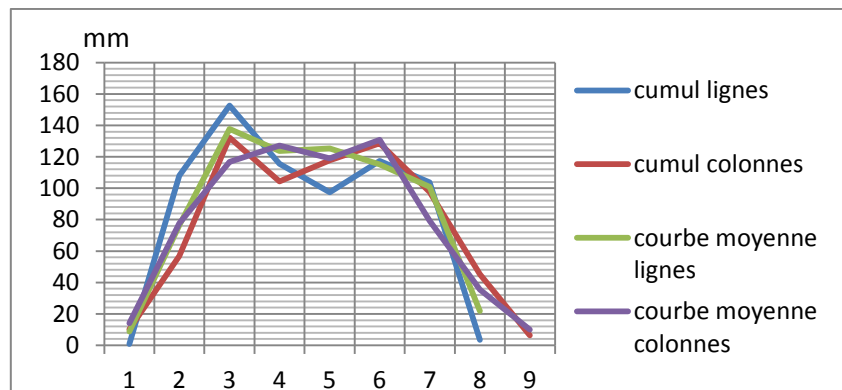
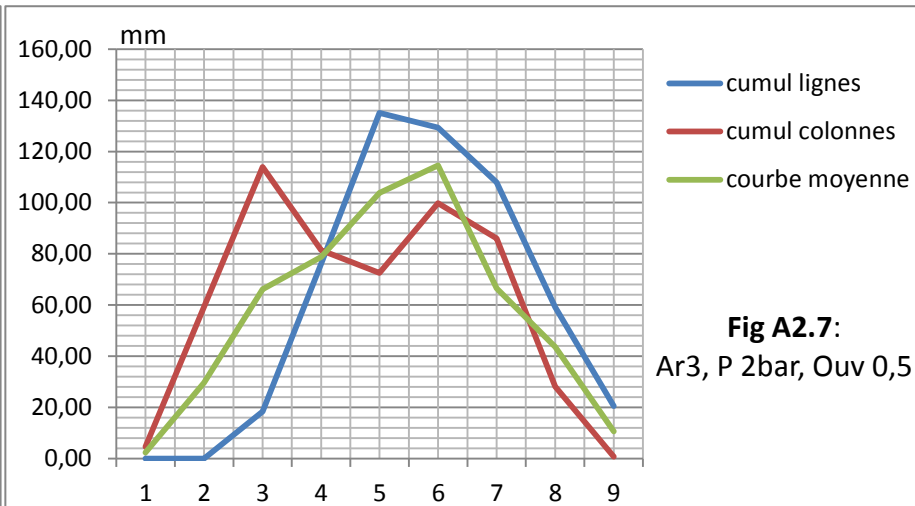
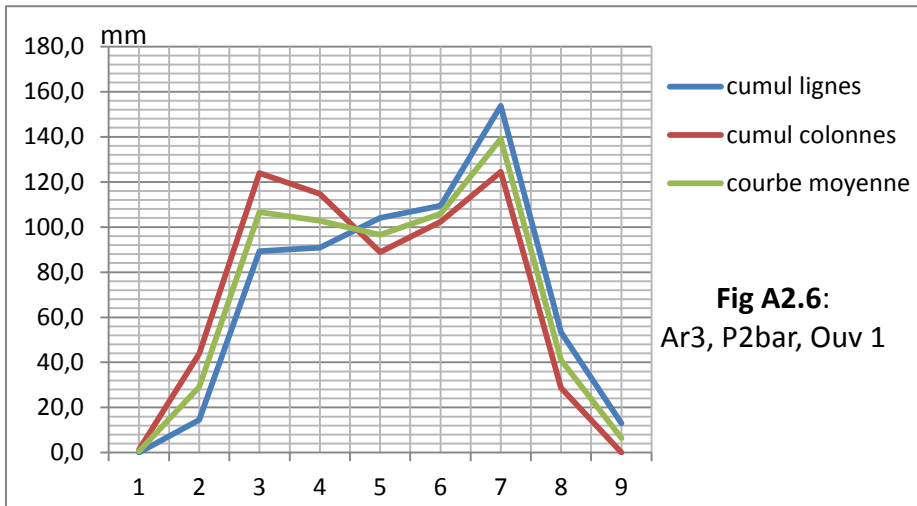
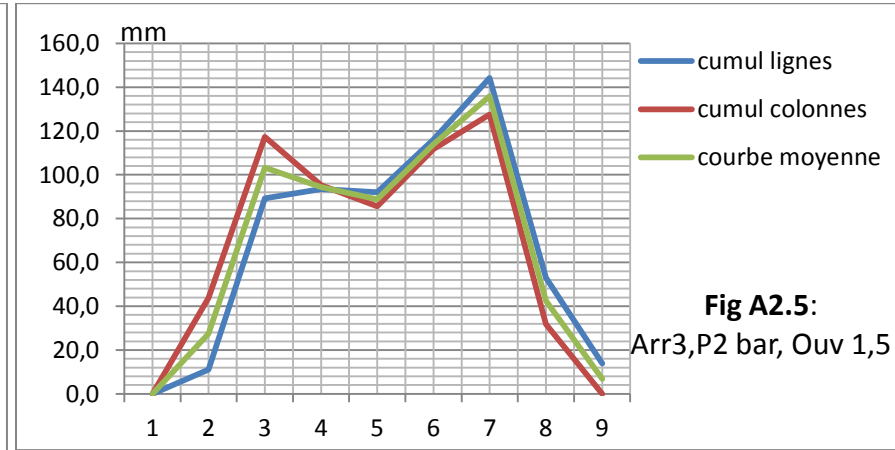
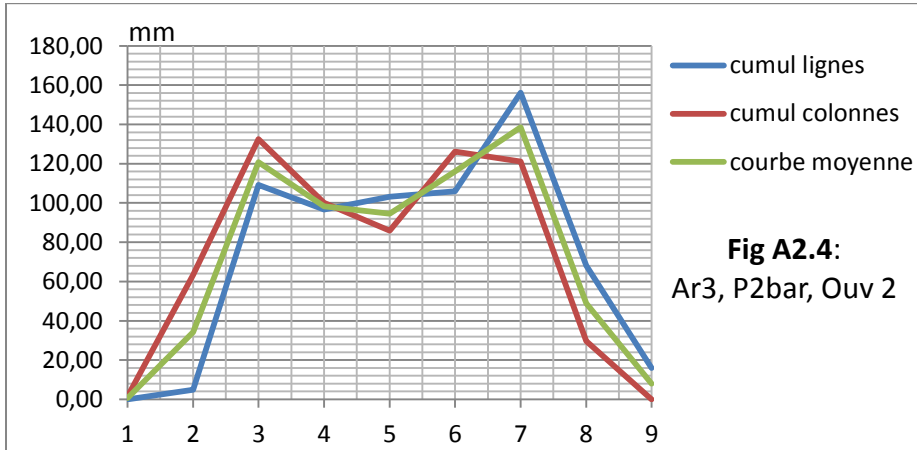
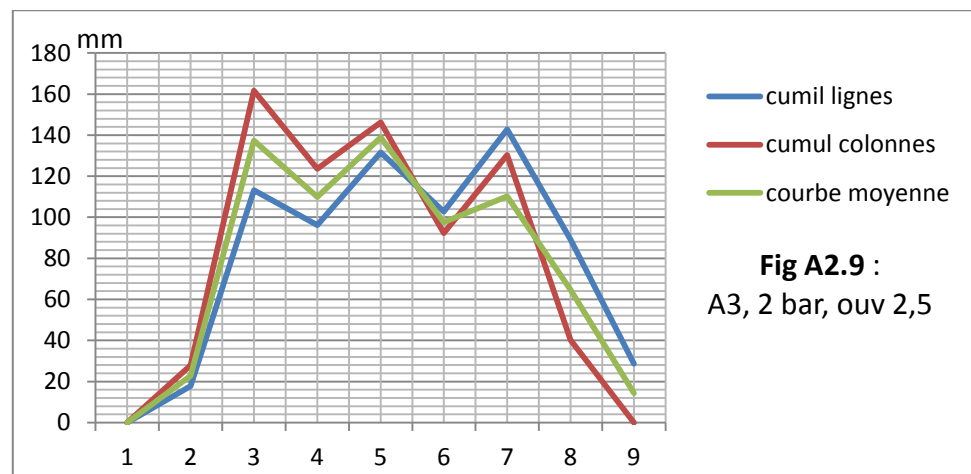
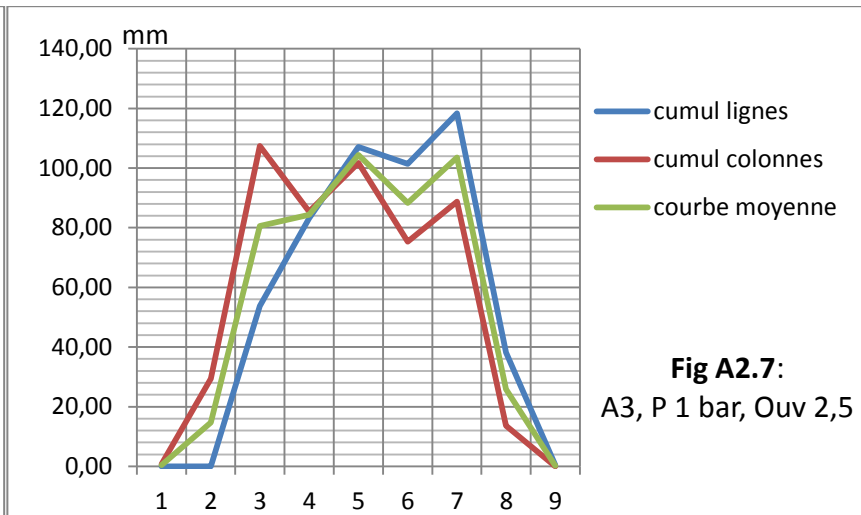
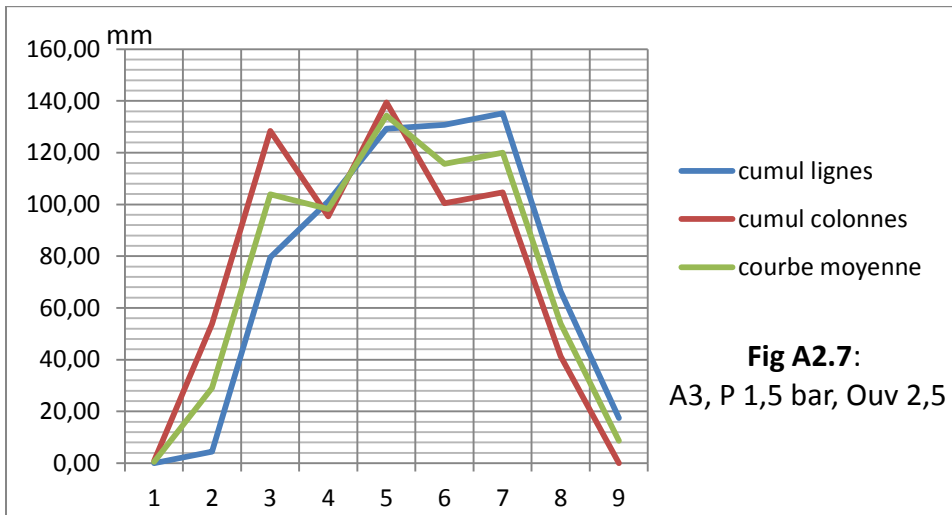
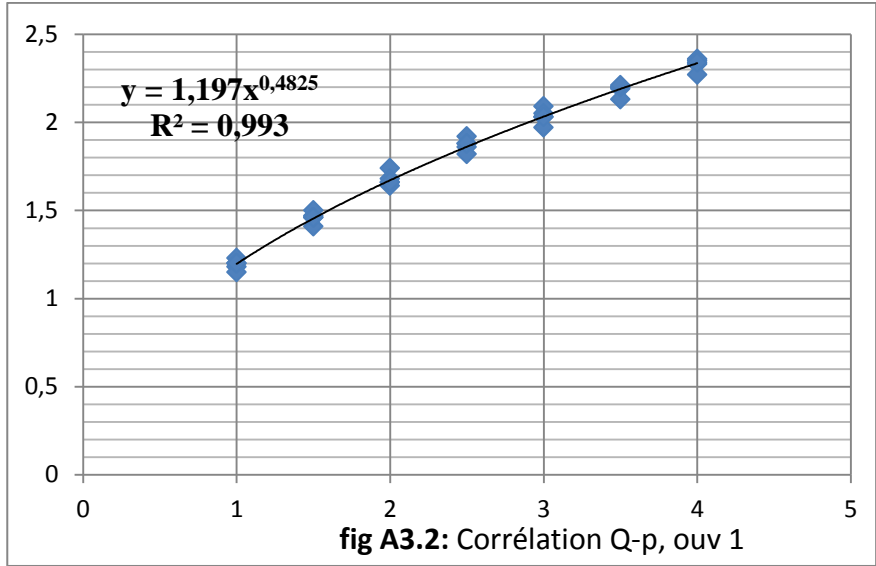
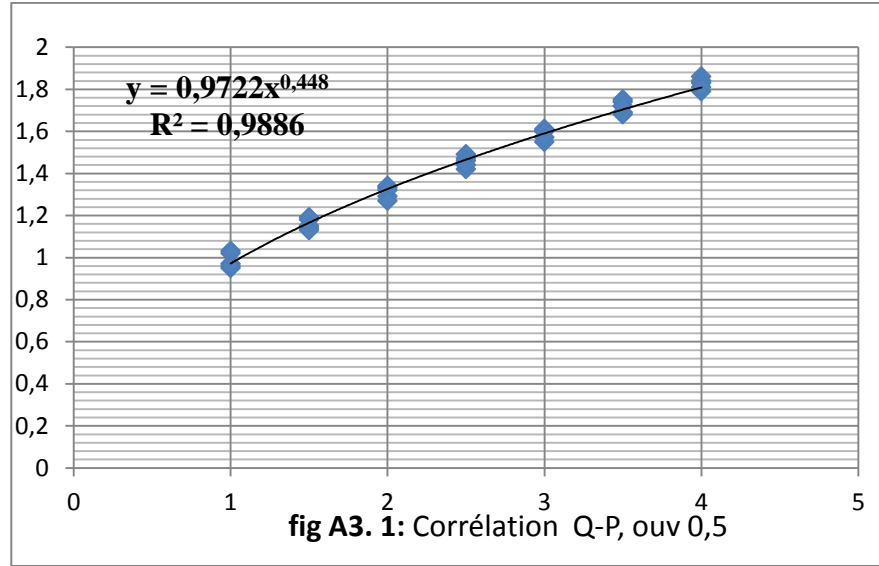


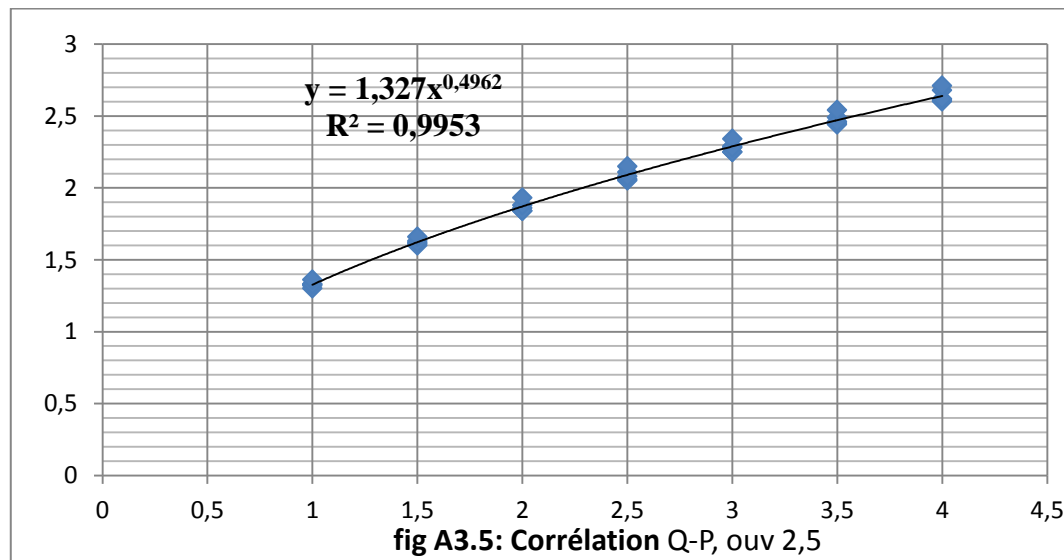
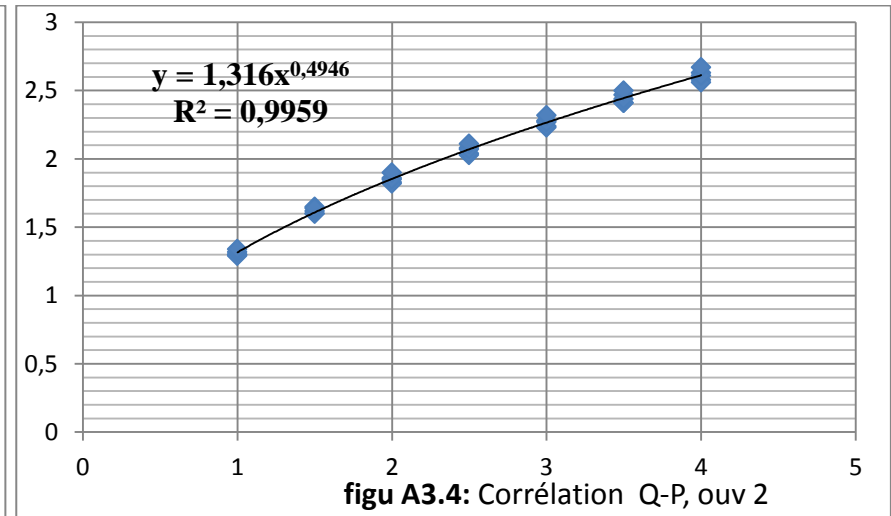
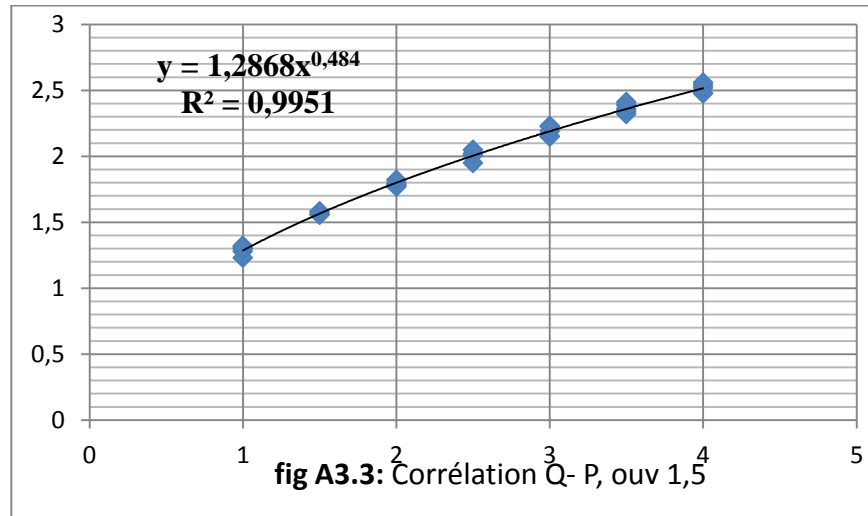
Fig A2.3: pluviométrie arroseur 03 pour (ouverture 2.5, P2bar)



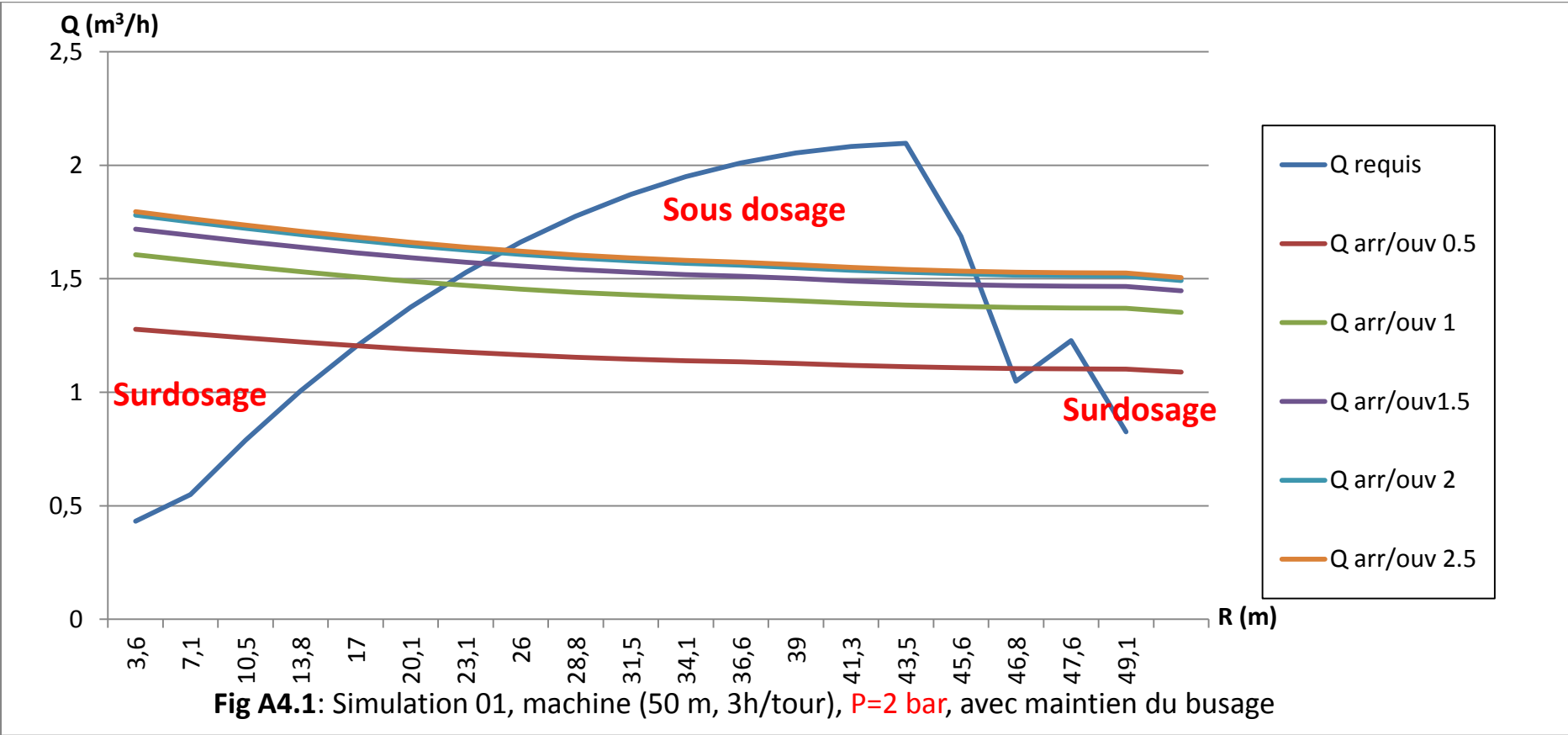


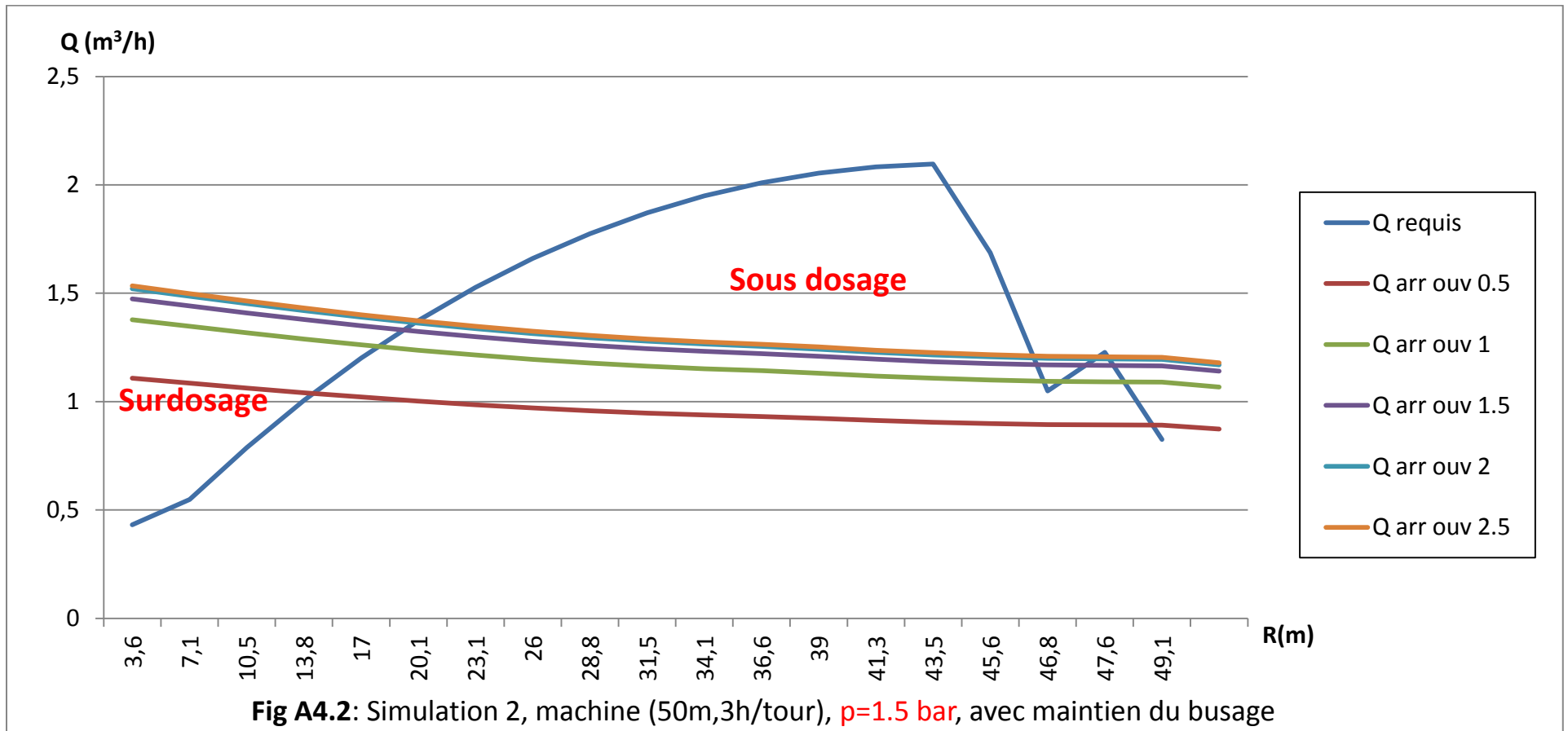
Annexe 3 : Corrélation Q-P





Annexe 04 : Simulation machine





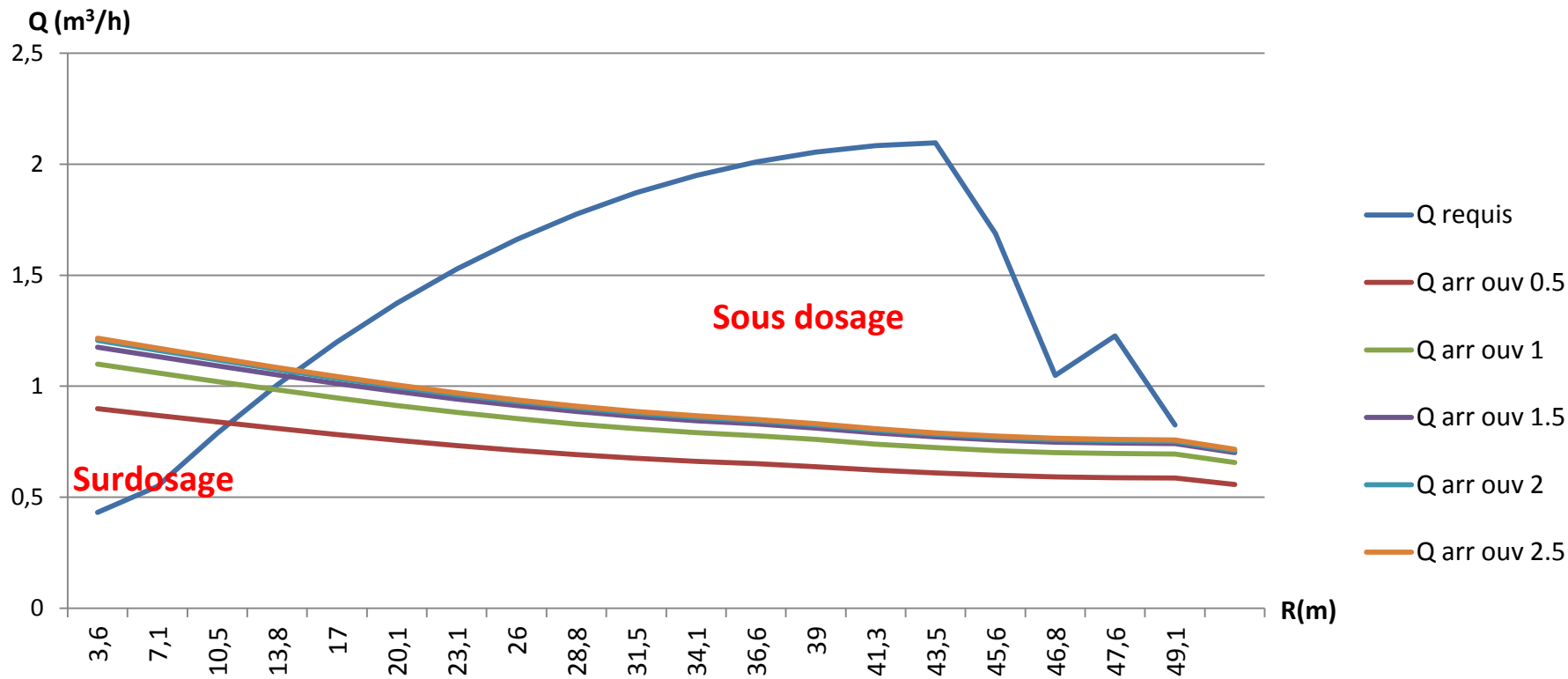
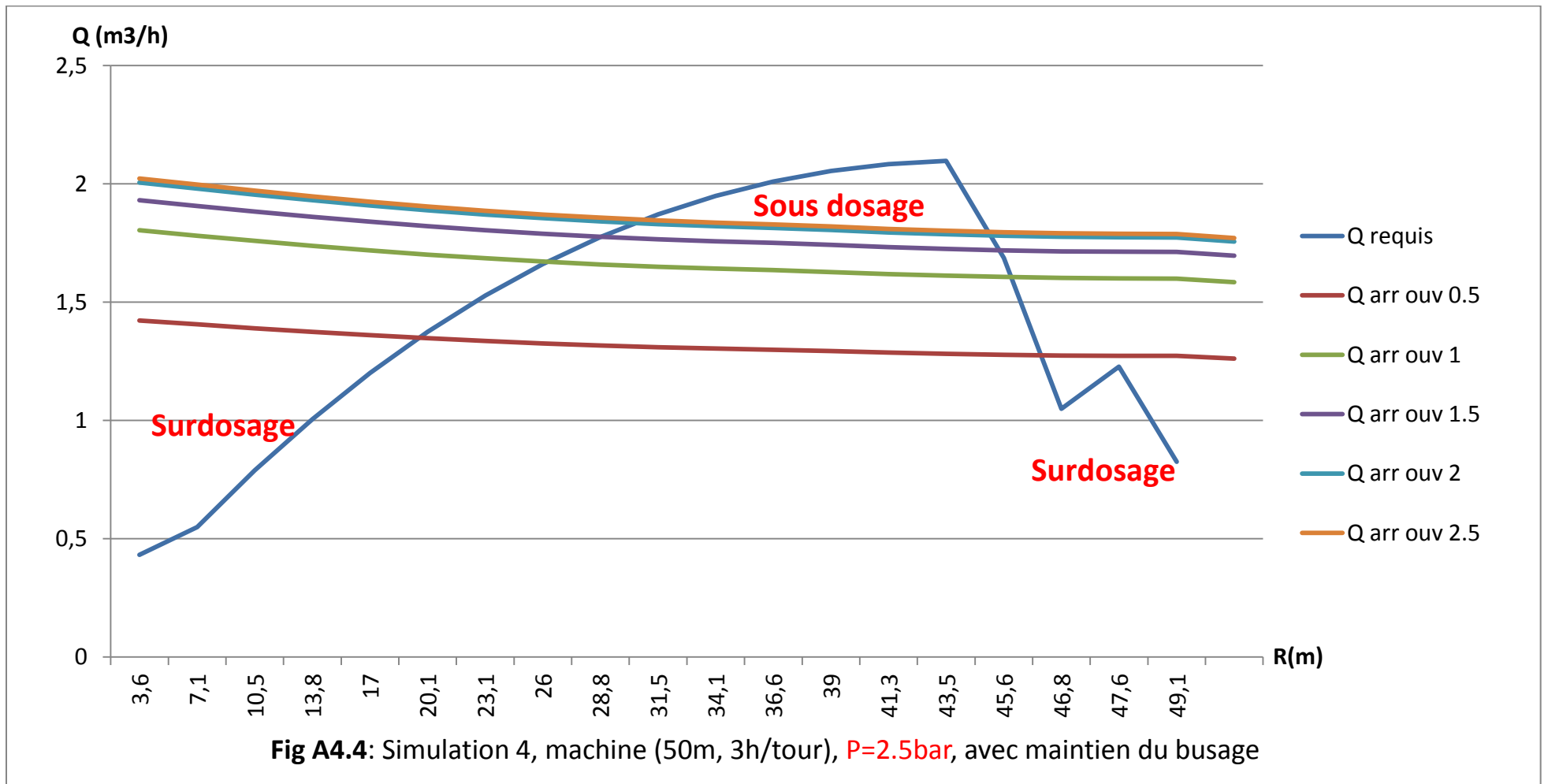
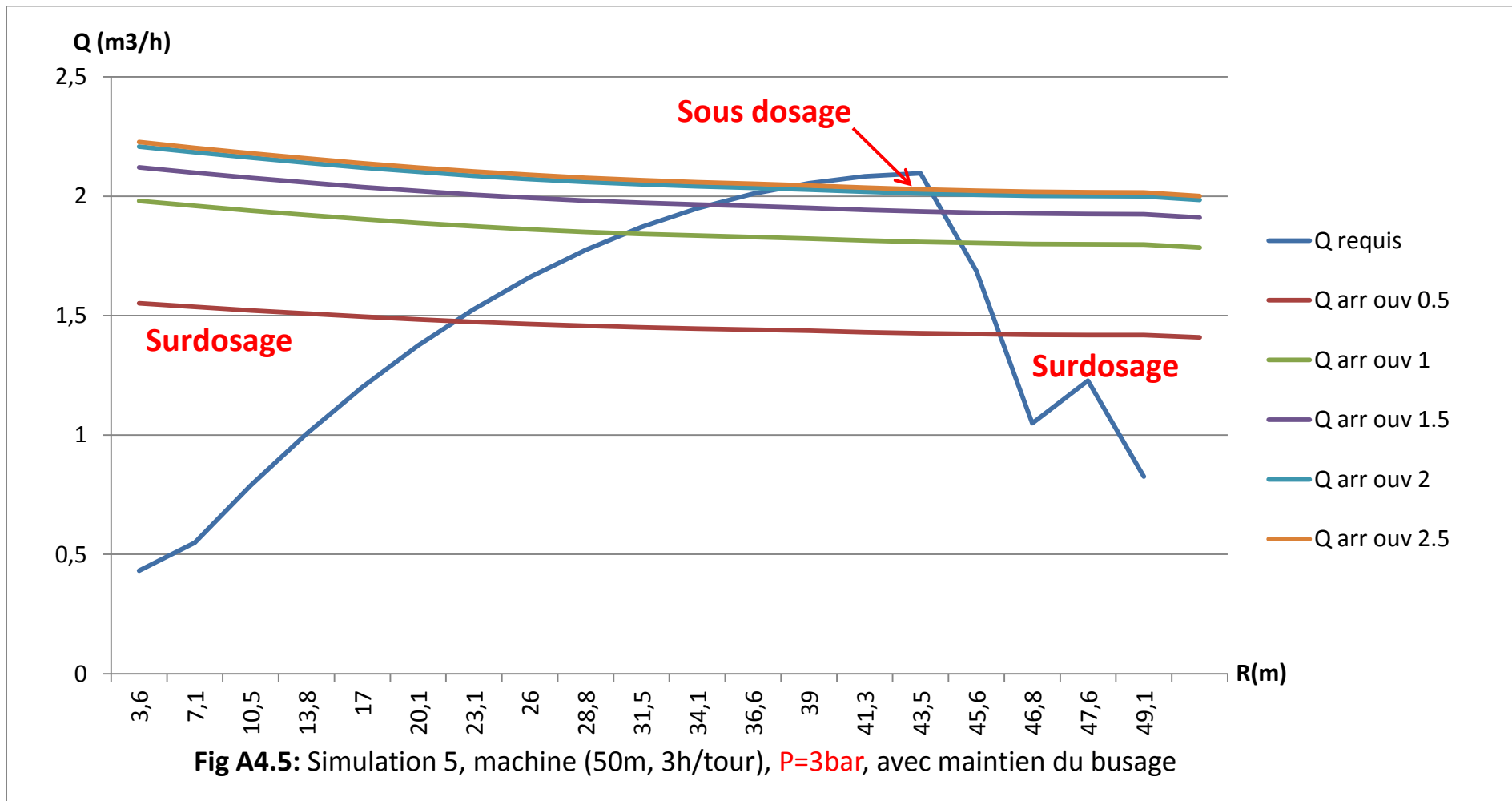


Fig A4.3: Simulation 03, machine (50m, 3h/tour), P =1 bar, avec maintien du busage





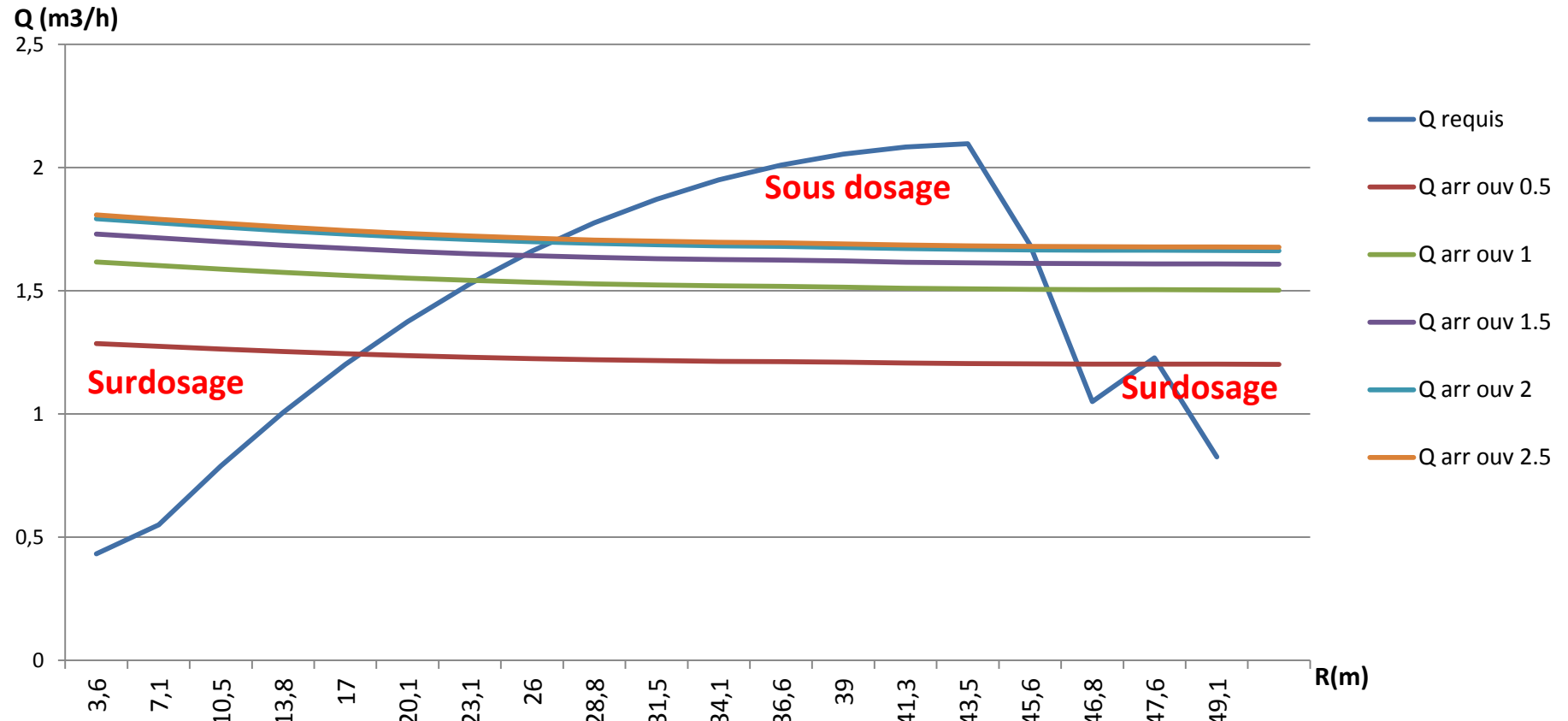


Fig A4.6: Simulation 06, machine (50m, 4h/tour), P=2bar, avec maintien du busage

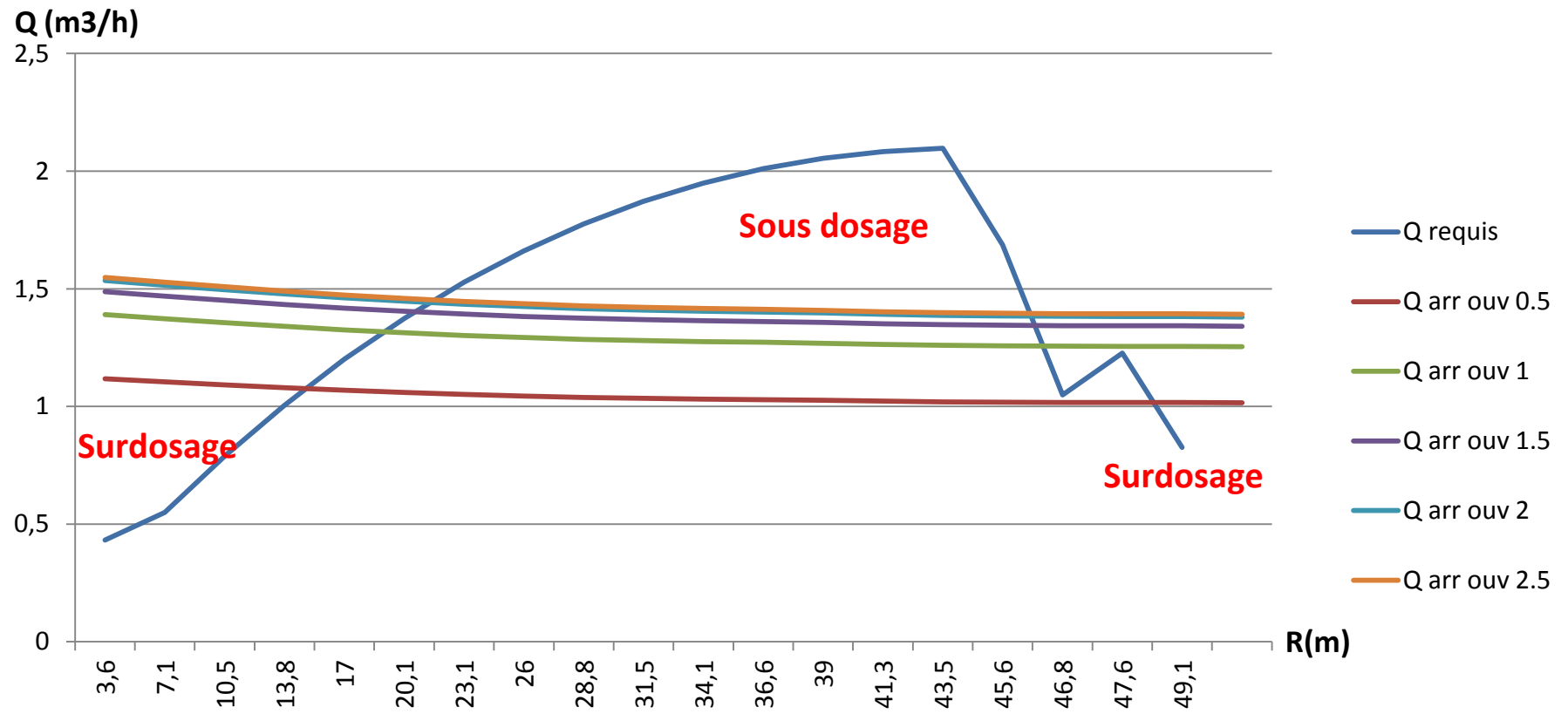
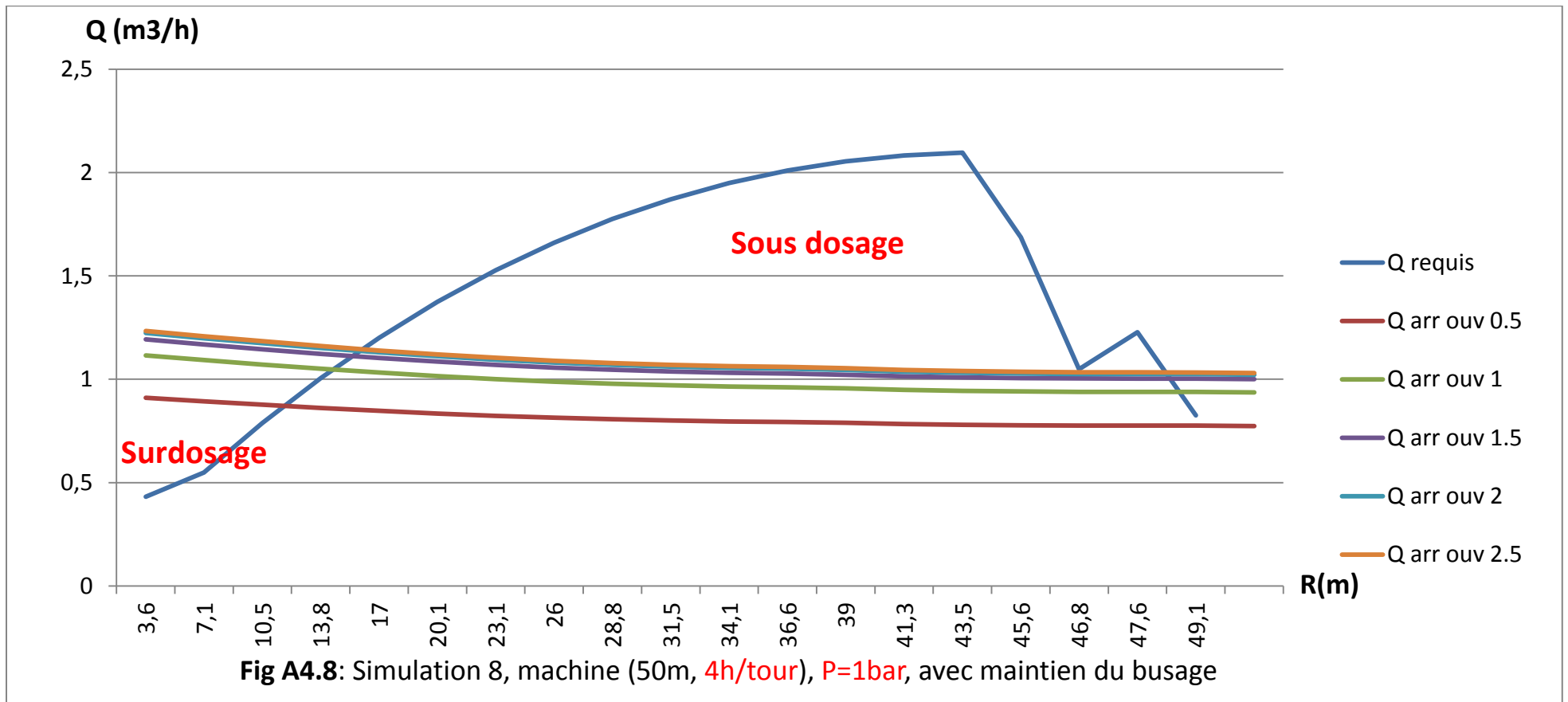
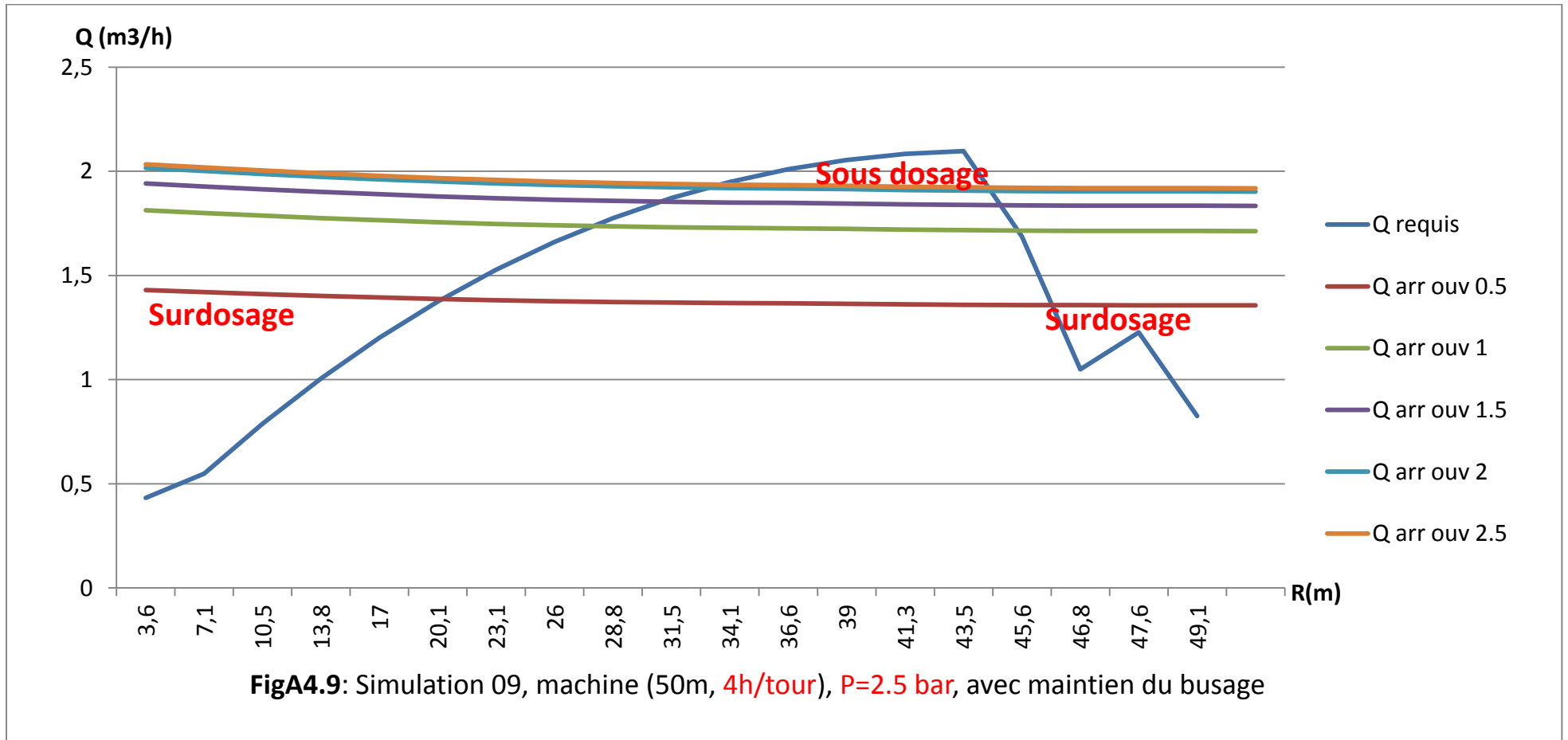


Fig A4.7: Simulation 7,machine (50m, 4h/tour), P= 1.5 bar, avec maintien du busage





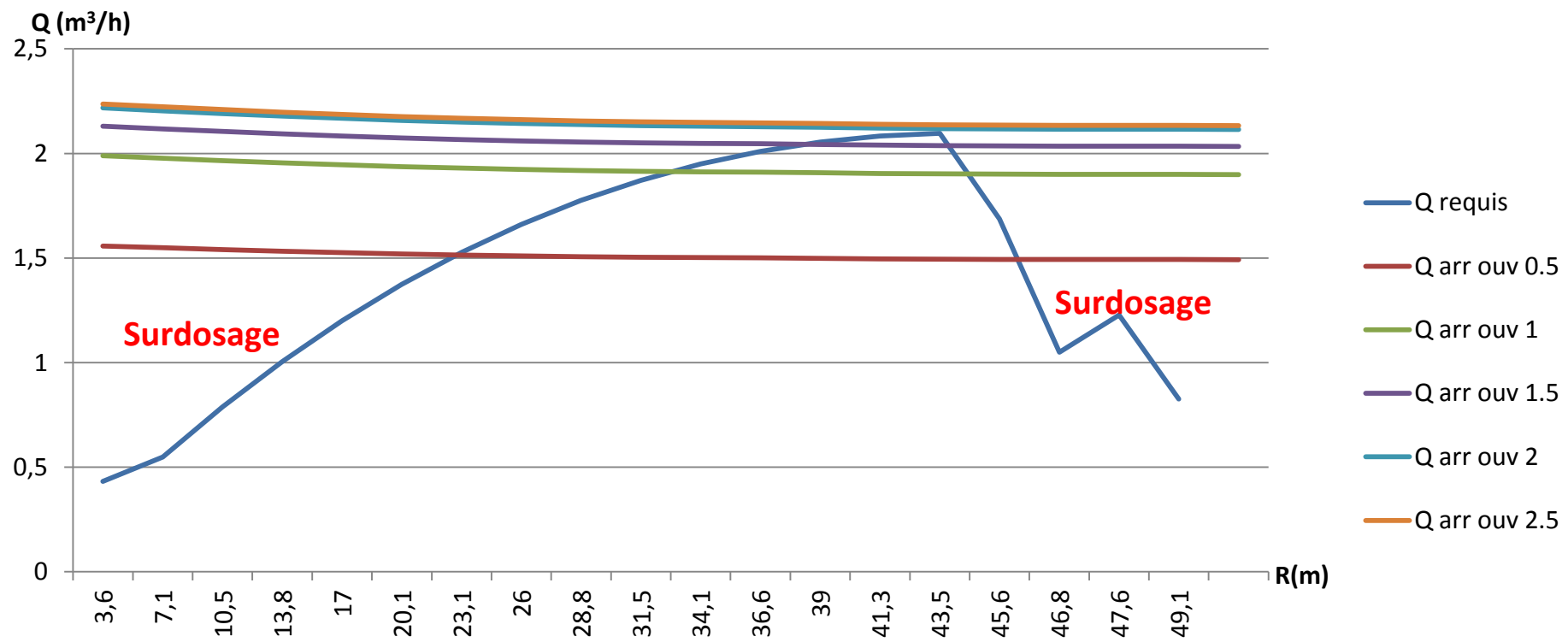


Fig A4.10: Simulation 10,machine (50m, 4h/tour), P=3bar, avec maintien du busage

Résumé :

Depuis une vingtaine d'années l'émergence de bassins de production maraîchère par la mobilisation des eaux souterraines est observée dans le Sahara algérien. En réponse à une crise hydraulique, l'ennoyage des palmeraies alimentées par la nappe phréatique (les *ghout*), les agriculteurs se sont orientés vers la culture de la pomme de terre, irriguée par des petits pivots artisanaux. Le département d'El Oued est ainsi devenu le premier producteur de pomme de terre dans le pays et a produit près de 1 million de tonnes de pomme de terre en 2017, soit 35% de la production nationale pour un montant estimé à 50 milliards DA. La mise en place et l'utilisation massive de 35 000 pivots irriguant chacun près de 1 ha, élaborés par des artisans locaux en recyclant des matériaux locaux interpelle quand on considère l'échec du pivot conventionnel dans le Sahara, décrit dans la littérature. Dans cette recherche, nous analysons ce dispositif hydraulique pour proposer des voies d'amélioration adaptées au contexte biophysique et socio-économique local, à travers une principale question : comment concevoir et instrumenter une démarche d'ingénierie venant en appui aux acteurs de terrain pour améliorer les performances d'irrigation ?

Notre démarche s'articule autour de trois axes. D'abord nous avons analysé comment le pivot a contribué au remodelage agraire, car une multitude d'agriculteurs et d'investisseurs se sont engagés dans la production de pomme de terre sous pivot. Nos analyses montrent que d'une part une agriculture entrepreneuriale, très rentable mais aussi risquée, s'est mise en place, et que, d'autre part, les Soufi ont puisé dans leur répertoire paysan pour atténuer ces risques, en particulier par une diversification agricole. Puis nous avons analysé le processus d'innovation incrémentielle du pivot, en montrant comment en dix ans les différents acteurs locaux (les artisans dans leur diversité, les commerçants et les agriculteurs) ont mis en place un pivot miniaturisé, peu coûteux et adapté aux exigences des utilisateurs. Son succès est basé sur l'enrôlement d'un grand nombre d'acteurs devenus « alliés » dans ce qui est devenu le réseau sociotechnique du pivot artisanal. Enfin à travers une analyse des performances hydrauliques *in situ* et en laboratoire, tout en intégrant l'étude des pratiques des agriculteurs, nous avons proposé des voies d'amélioration de ces performances, qui tiennent compte des acquis de plus de vingt ans d'innovation locale dans le Souf. Finalement nous avons montré que la performance hydraulique du dispositif peut être améliorée, à condition que l'ingénieur rentre dans un processus de dialogue et négociation continu avec les acteurs de terrain.

Mots clés : irrigation, pivot, performances hydrauliques, innovation, systèmes agraires, pomme de terre, Sahara, Algérie

Abstract:

During the last two decades the emergence of basins of vegetable production through the mobilisation of groundwater resources has been observed in the Algerian Sahara. Faced with a water crisis, the waterlogging of the palm groves relying traditionally on the phreatic aquifer (the Ghouts), farmers have resorted to the production of potatoes, irrigated by small locally-made center pivots. The department of El Oued has thus become the first producer of potatoes in Algeria with nearly 1 million tons produced in 2017, which corresponds to 35% of the national production for an estimated amount of 50 billion DZD. The use of 35 000 pivots, developed by local artisans, irrigating 1 ha each is surprising when considering the failure of conventional pivots in the Sahara. In this thesis, we analyse this local irrigation device to propose improvements suited to the local biophysical and socio-economical context. The research question is, then, how to conceive and instrument an engineering approach to support local actors in improving irrigation performances?

Our approach is structured in three parts. First, we have analysed how the pivots have contributed in reshaping the agricultural landscape, because a large number of farmers and investors are now farming potatoes using pivots. Our investigations show that a very lucrative yet risky entrepreneurial agriculture has emerged. On the other hand, the farmers have mobilized age-old strategies and farming assets to decrease risk factors by practising agricultural diversification. Second, we have analysed the incremental innovation process of pivots, by showing how in ten years time the different local actors (artisans, businesspeople and farmers) have put in place miniaturised pivots, inexpensive and adapted to the users' expectations. Its success is based on the enrolment of a large number of actors who became "allies" in what has become a sociotechnical network of artisanal pivots. Finally, through the analysis of hydraulic performances *in situ* and in the laboratory, while accounting for current farmers' practices, we have proposed ways of improving hydraulic performances that take into account twenty years of local innovation breakthroughs in the Souf. In addition, we have shown that the hydraulic performances of the device can be improved, provided that both engineers and local actors initiate a continuous process of dialogue and negotiation.

Key words: irrigation, pivot, hydraulic performance, innovation, farming systems, potatoes, Sahara, Algeria