HAL
open science

Une innovation technique en train de se faire. Le goutte à goutte en pratique au Maroc : acteurs, bricolages et efficiences.

Maya Benouniche

To cite this version:

Maya Benouniche. Une innovation technique en train de se faire. Le goutte à goutte en pratique au Maroc : acteurs, bricolages et efficiences.. Hydrologie. Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc, 2014. Français. NNT : 2014MON20176 . tel-01810938

HAL Id: tel-01810938

https://theses.hal.science/tel-01810938

Submitted on 8 Jun 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UM2 Université Montpellier II Sciences et techniques

THESE

Pour l'obtention de grade de

DOCTEUR EN SCIENCES AGRONOMIQUES

Ecole doctorale : SIBAGHE – Systèmes Intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosciences et Environnement.

Spécialité : ECS - Eaux Continentales et Société

Présentée publiquement

Par :

Maya BENOUNICHE

Titre :

Une innovation technique en train de se faire
Le goutte à goutte en pratique au Maroc : acteurs, bricolages et efficiences

A technical innovation in the making
Drip irrigation in use in Morocco: actors, bricolage and efficiencies

Thèse dirigée par : **Marcel KUPER**
Soutenue le 22 décembre 2014

Jury

C. De Fraiture, Professor in Land and Water Development, UNESCO-IHE, Pays-Bas	Rapporteur
S. de Tourdonnet, HDR, maîtres de conférences, Institut des Régions Chaudes, Franc	Rapporteur
J.P. Billaud, Directeur de recherche au CNRS, Paris-Nanterre, France	Examinateur
A. Hammani, Professeur, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Maroc	Examinateur
P. Garin, ICPEF, UMR G-EAU, Irstea, France	Examinateur
M. Kuper, Chercheur HDR, UMR G-EAU CIRAD, France	Directeur de thèse

Sommaire

Résumé 5

Abstract 7

Chapitre 1 : Introduction générale 9

1.1. Le goutte à goutte au Maroc : tous actionnaires ? 10

1.2. Le goutte à goutte et le chercheur 19

1.3. Les concepts théoriques qui m'ont inspirée tout au long de la thèse 31

Références 40

Chapitre 2. Analyse croisée des initiatives locales et programmes étatiques de développement du goutte à goutte : cas du Gharb au Maroc 46

Quand les petites exploitations adoptent le goutte-à-goutte : initiatives locales et programmes étatiques dans le Gharb (Maroc) 48

Introduction 49

Méthode 50

Résultats 51

Installations issues d'initiatives locales 51

Programmes étatiques : une aide financière mais aussi un accès à l'expertise et au matériel de qualité 54

Reconversion collective : une conception sous forte impulsion de l'Etat, peu adaptée aux petites exploitations 56

Discussion et conclusion 59

Références 61

Chapitre 3. Le *bricolage* comme innovation : Ouvrir la boîte noire du système d'irrigation au goutte à goutte 63

BRICOLAGE AS INNOVATION: OPENING THE BLACK BOX OF DRIP IRRIGATION SYSTEMS 65

INTRODUCTION 66

METHODOLOGY AND STUDY AREA 67

RESULTS 68

The process of bricolage on drip irrigation in the Saiss 68

A FILTER SYSTEM CROSSING THE THREE INSTANCES OF *BRICOLAGE* 72

FROM INTERNATIONAL TO LOCAL STANDARDS: TOWARDS A NEW STANDARDIZATION OF DRIP IRRIGATION EQUIPMENT? 73

ACCEPTING *BRICOLAGE* AS A VALID PRACTICE 74

DISCUSSION 76

Bricolage as a creative process of learning and adaptation 76

Engineers as 'bricoleurs'? 76

CONCLUSIONS 77

REFERENCES 78

Chapitre 4 : Analyse des pratiques et logiques des agriculteurs pour expliquer la performance d'irrigation des systèmes au goutte à goutte 80

Making the user visible: analysing irrigation practices and farmers' logic to explain actual drip irrigation performance 82

1. Introduction 83

2. Methodology 84

2.1 Study area 84

2.2 Research approach 85

3. Results 90

3.1 Drip irrigation performance 90

3.2 Farmers' irrigation practices 93

3.3 Logic behind farmers adopting and using drip irrigation 98

3.4 Interactions between logics, and groups, evolving logics 104

4. Discussion: Beyond water saving, putting drip irrigation performance in a wider perspective 106

5. Conclusion: Putting the user at the heart of the irrigation performance debate 108

References 109

Chapitre 5 : L'enrôlement des acteurs non-conventionnels dans la communauté du goutte à goutte au Maroc 112

The seductive power of an innovation: enrolling non-conventional actors in a drip irrigation community in Morocco 114

1. Introduction 115

2. Methodology 117

3. Results 118

3.1 The enrolment of non-conventional actors in three innovation periods 118

3.2 The pathways of four non-conventional innovation actors 123

3.3 Explaining the engagement of non-conventional actors in diffusing drip irrigation 127

4. Discussion 130

4.1 Model of "interessement" versus model of diffusion 130

4.2 Change and be changed: interplay between non-conventional innovation actors and drip irrigation technology 131

Conclusion 133

References 134

Chapitre 6. Conclusion générale : Le goutte à goutte, une innovation portée par plusieurs acteurs où l'économie d'eau parait une mystification 136

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ABH : Agence de Bassin Hydraulique

ABHS : Agence de Bassin Hydraulique du Sebou

CIID Commission International de l'Irrigation et du Drainage

CIRAD : Centre International de la Recherche Agronomique pour le Développement

CU : Coefficient d'uniformité

Dh : Dirham

DPA : Direction Provinciale de l'Agriculture

ENAM : Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès

ENSA : Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'Alger

FAO : Food and Agriculture Organization

IAV : Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II Rabat

IE : Efficience de l'Irrigation

INAT : Institut National d'Agronomie de Tunis

IRSTEA : Institut National de recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture

ISO : Organisation Internationale de Normalisation

Mm^3 : Million de mètres cubes

PDAIRE : Plan Directeur d'Aménagement Intégré des Ressources en Eau

PNEEI : Programme National d'Économie d'Eau en Irrigation

SIRMA : Economie d'eau en Systèmes Irrigués au Maghreb

UMR G-EAU : Unité Mixte de Recherche Gestion de l'Eau, Acteurs et Usages

Résumé

Promue comme la technique d'irrigation la plus efficiente et mise à contribution pour régler les grandes crises d'eau, le goutte à goutte se diffuse très rapidement de par le monde. La perspective d'une technique étudiée en station expérimentale ayant une efficience d'irrigation théorique de 90%, sans utilisateurs, et en définitive idéalisée, nous a d'emblée interpellé. Notre thèse analyse le goutte à goutte comme une innovation technique, en lien avec son environnement sociotechnique et en interaction avec la multitude d'acteurs (conventionnels et non-conventionnels), qui interagissent avec cette technique. Elle interroge la vision normative de la technique du goutte à goutte (ce qu'elle devait faire), en l'insérant dans une analyse plus complexe incluant ses dimensions pratiques et les logiques d'acteurs in situ (ce qu'elle fait et pour qui le fait-il). Notre objectif est d'analyser comment la pratique de cette innovation technique a changé la technologie ainsi que les trajectoires socioprofessionnelles des acteurs du goutte à goutte, et d'étudier l'impact de la pratique sur les efficiences d'irrigation.

Nous avons mené nos travaux de recherche dans 30 exploitations agricoles dans la plaine du Saïss au Maroc. Cette plaine est considérée comme une zone d'irrigation privée, et est à ce titre particulièrement concernée par le Programme National d'Economie d'Eau en Irrigation qui ambitionne de réduire la pression sur les eaux souterraines par la reconversion des systèmes d'irrigation gravitaire existants en systèmes d'irrigation localisée. Nous avons fait le choix méthodologique de croiser des approches de sciences de l'eau, en particulier sur les efficiences d'irrigation, et de sociologie de l'innovation pour décrypter les mécanismes d'appropriation de l'objet technique.

Nos résultats montrent comment les acteurs locaux ont pris le contrôle de l'innovation, et assumé des responsabilités dans des domaines que l'on pensait réservés aux ingénieurs dans la production, l'utilisation et la diffusion de l'innovation. Ces acteurs ont adapté à travers un processus qu'ils qualifient de *bricolage* les systèmes de goutte à goutte aux conditions locales, permettant aussi un apprentissage de la technique pour apprivoiser le changement. D'une technologie importée accessible à une minorité de grands agriculteurs, une pluralité de systèmes de goutte à goutte de proximité sont désormais accessibles au plus grand nombre. Nous montrons aussi comment ces initiatives locales croisent et renforcent les programmes étatiques de développement du goutte à goutte. Nos travaux ont démontré que les performances d'irrigation de ces systèmes sont hétérogènes, certains agriculteurs irriguant 3-4 fois plus que les volumes nécessaires aux besoins de la culture. Ces performances peuvent être expliquées par des pratiques d'irrigation favorisant le confort hydrique de la plante, traduisant ainsi les multiples logiques des acteurs. Enfin, nous montrons comment la technologie du goutte à goutte a séduit un grand nombre d'acteurs non-conventionnels qui ont changé la technologie, mais ont changé aussi eux-mêmes. La diffusion réussie du goutte à goutte

assure leur promotion socioprofessionnelle, et à leur tour ils vont attirer d'autres utilisateurs dans le monde du goutte à goutte. C'est là où se résume la force du goutte à goutte comme objet technique autour duquel de puissants réseaux sociotechniques se sont construits. Nous concluons qu'aujourd'hui, « l'économie d'eau » est un objectif perdu de vu, qui n'est prioritaire pour aucun des acteurs, y compris l'Etat-promoteur. L'enjeu est donc d'engager un débat sur l'économie d'eau entre toutes les parties prenantes – l'Etat, la profession agricole, les entreprises d'irrigation – sur la base des usages réels de l'eau des systèmes de goutte à goutte. Ils pourront ainsi fixer des objectifs opérationnels d'économie d'eau, qui sont – comme nous l'avons montré – tout à fait possibles tout en améliorant les rendements. Un cahier des charges négocié, mis en place dans les différentes régions du Maroc, pourra concrétiser ces objectifs et permettra la mise en place d'un suivi des volumes réels utilisés dont les résultats seraient accessibles à tous les acteurs.

Mots clés :
Irrigation au goutte à goutte, innovation, économie d'eau, performances d'irrigation, bricolage, acteurs non-conventionnels, le Saiss, Maroc

Abstract

Promoted as the most efficient irrigation technology and put forward to solve some of the major water crises, drip irrigation spreads rapidly around the world. The perspective of a technology studied in experimental stations with a theoretical irrigation efficiency of 90%, without considering the users, and ultimately idealized, was of immediate concern to us. Our thesis analyses drip irrigation as a technical innovation, linked to its socio-technical environment and interacting with the multitude of actors (conventional and unconventional) concerned with this technique. We question the normative vision of the drip technique (what it should do), by replacing it into a more complex analysis including its practical dimensions and the logic of actors manipulating it (what it does and for whom?). Our objective is to analyse how the practice of this technical innovation has changed both the technology and socio-professional trajectories of actors, and to study the impact of this practice on irrigation efficiencies.

We conducted our research in 30 farms in the Saïss plain in Morocco. This plain is considered a private irrigation area particularly concerned by Morocco's National Irrigation Water Saving Programme, which aims to reduce the pressure on groundwater through the conversion of existing gravity irrigation systems to drip irrigation systems. Our research methodology combined approaches of water sciences, particularly on irrigation efficiencies, and sociology of innovation to decrypt the appropriation mechanisms of the technical object.

Our results show how local actors took control of the innovation sharing responsibility in areas once thought reserved for engineers in the production, use and dissemination of innovation. These actors have adapted through a process they call themselves "bricolage" drip irrigation systems to local conditions, also enabling learning by local actors to deal with change. From an imported technology accessible to a minority of large farmers, drip irrigation became a plurality of drip irrigation systems accessible to a large diversity of farmers. We also show how these local initiatives cross and strengthen state-led drip irrigation development programs. Our work has shown that irrigation performance of these systems is heterogeneous, some farmers irrigating 3-4 times the volumes necessary for the crop water requirements. This performance can be explained by irrigation practices that do not necessarily focus on water saving, reflecting the multiple logics of the farmers. Finally, we show how the drip technology has attracted a large number of non-conventional actors who changed the technology, but also changed themselves. The successful diffusion of drip irrigation ensures their social and professional promotion, and in turn they will attract other users in the world of drip irrigation. This is where the strength lies of drip irrigation as a technical object around which powerful socio-technical networks were built. We conclude that today "water saving" is an objective of no priority for any of the actors, including the state. The challenge is to engage a debate about water saving among all parties - the state, the agricultural profession, irrigation companies - on the basis of the actual use of the drip

irrigation systems. This will help to set operational targets for water saving, which are - as we have shown - entirely possible while improving yields. Specific and negotiated agreements, implemented in different regions of Morocco, should translate these objectives in action plans, allowing the monitoring of actual irrigation volumes where the results would be accessible to all actors.

Key words: Drip irrigation, innovation, water saving, irrigation performance, bricolage, non-conventional actors, Saiss, Morocco

Laboratoire où la thèse a été préparée :

CIRAD, UMR G-eau TA C-90/15 L'Hortus 73, rue JF Breton 34398 Montpellier cedex 5 France

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

Chapitre 1. Introduction générale

Quand le terme « irrigation au goutte à goutte » est évoqué par l'ingénieur agronome, il est considéré comme une technique d'irrigation permettant l'application lente (la « goutte ») et fréquente de l'eau à la zone des racines des plantes par l'intermédiaire d'un réseau de gaines ou de tuyaux perforés de basse pression. Il s'agirait donc d'un objet technique dont on peut décrire les composantes et qui répond à des qualifications contenues dans des normes ISO (e.g. Solomon et Dedrick, 1995). La littérature spécialisée se focalise en effet sur l'amélioration des performances techniques des différentes composantes d'un système de goutte à goutte (les goutteurs, par exemple) ou du système dans son ensemble, par exemple la performance d'irrigation comparée entre goutte à goutte de surface et enterré (Wu et Gitlin, 1983 ; Hansona et al., 1997). L'objectif final étant d'améliorer l'efficience d'irrigation qui constitue pour l'ingénieur et le chercheur spécialisé le leitmotiv des recherches entreprises. Le goutte à goutte est aussi mis en avant dans les instances internationales, et repris par des politiques publiques dans différents pays voulant contribuer à régler les grandes crises de l'eau (par exemple Postel , 2000 ; Bourzac, 2013). Cependant, le goutte à goutte est généralement mis à contribution sur la base d'efficiences théoriques (van der Kooij et al., 2013). Cette perspective d'un goutte à goutte exfiltré de son environnement et étudié en station expérimentale, sans utilisateurs, et finalement idéalisé, nous a d'emblée interpellé. Notre thèse considère au contraire le goutte à goutte comme une innovation technique dans son environnement d'utilisation, et en interactions avec une multitude d'acteurs. Elle rejette une vision normative du goutte à goutte (ce qu'il devrait être ou devrait faire) et regarde *in situ* ce qu'est le goutte à goutte et ce qu'il fait et pour qui le fait-il ? En conséquence, nous nous posons la question suivante : comment la pratique de l'innovation technique qu'est le goutte à goutte a changé à la fois la technologie et les trajectoires socioprofessionnelles des acteurs impliqués, et quel est l'impact sur les efficiences d'irrigation ? Plus en détail, nous allons regarder par quels processus le goutte à goutte a enrôlé une diversité d'acteurs pour la production, utilisation et diffusion de cette innovation technique, et quels sont les changements réciproques opérés dans ce processus sur ces acteurs et la technologie ? Nous nous interrogeons enfin sur l'efficience d'irrigation d'un goutte à goutte en pratique ? Nous allons illustrer dans cette introduction notre cheminement scientifique qui a abouti à la construction de ce questionnement.

La diffusion de l'irrigation au goutte à goutte est un phénomène important en agriculture irriguée de par le monde. De 400 000 ha en 1981, on est passé à 10,3 millions ha en 2010 selon le World Watch Institute, avec une augmentation très rapide des superficies équipées. Il s'agira, dans cette thèse, de décrypter cette rencontre remarquable entre une technologie et ses utilisateurs dans un processus en train de se faire et en reconstruisant les perspectives et les projets de l'ensemble des acteurs impliqués dans la production, la diffusion et l'utilisation du goutte à goutte (Akrich et al., 1988). Notre thèse, qui se veut un travail empirique, se déroule au Maroc où le goutte à

goutte rencontre un vif succès auprès d'une diversité d'acteurs : les politiques publiques, les utilisateurs, les privés et professionnels de l'irrigation, les chercheurs. A travers l'introduction, nous abordons la construction de notre thèse et ses objectifs, en décryptant cet engouement pour le goutte à goutte au Maroc. Dans une deuxième partie, nous présentons notre propre engagement dans une recherche scientifique portant sur le goutte à goutte. La troisième partie fait part de mon dialogue avec la théorie et met en évidence les débats dans la littérature internationale qui m'ont inspiré dans ce travail.

1.1. Le goutte à goutte au Maroc : tous actionnaires ?

Au début, une technique intéressant quelques grands agriculteurs et des chercheurs

L'introduction de la technique d'irrigation au goutte à goutte au Maroc était, à l'origine, essentiellement due aux initiatives privées. Plusieurs auteurs témoignent de son introduction par des agriculteurs privés à différents endroits au Maroc au milieu des années 1970, par exemple en 1974, dans la région d'Oulmès à 100 km à l'Est de Rabat (Ababou, 1979). Dans le Souss au sud du Maroc, Popp (1984, p. 231) mentionne l'installation de 125 ha d'agrumes, irrigués en goutte à goutte en 1976. En 1979 la superficie équipée était de 700 ha pour l'ensemble du pays (Ababou, 1979), et concernait essentiellement les agrumes (80%) dans les régions de Meknès, Marrakech et Agadir. L'introduction du goutte à goutte intéressait en majorité (78%) les grandes exploitations supérieures à 40 ha, mais l'Etat jouait déjà un rôle important à l'époque en exonérant les importateurs des taxes d'importation (*ibid*). Vers la fin des années 1980, l'introduction du goutte à goutte dans la zone côtière du Gharb était également due aux initiatives privées, et ce avec l'arrivée d'investisseurs espagnols vers la fin des années 1980 pour la production de fraises (Poncet, 2010). Dans cette région, le goutte à goutte a rapidement pris de l'ampleur avec une augmentation sensible des superficies de bananier et de fraisier. Motivés par l'expérience acquise dans les exploitations espagnoles, les gérants de ces exploitations se sont progressivement installés à leur compte. Les ouvriers des grandes exploitations quant à eux adoptaient aussi le goutte à goutte sur leurs propres parcelles maraîchères, avec parfois du matériel d'irrigation récupéré sur les fermes espagnoles. Ce n'est qu'en 2002, après la mise en place effective d'un nouveau programme de subventions, que cette dynamique sera renforcée (Benouniche et al, 2011). Nous analyserons ces dynamiques dans le deuxième chapitre de cette thèse.

Du côté de la recherche, l'intérêt accordé à la technique d'irrigation au goutte à goutte au Maroc remonte également aux années 1970. Tabet (1972) mentionne un exposé sur le goutte à goutte au Maroc d'un scientifique de l'Université de Californie en 1972, alors que des échanges sur les avantages du goutte à goutte ont eu lieux lors de la conférence de la Commission Internationale de l'Irrigation et du Drainage (CIID) à Varna en 1972. Le thème de la micro-irrigation avait ensuite fait l'objet de plusieurs communications lors des journées scientifiques organisées en septembre 1977 à Rabat par les Comités

Nationaux Marocains et Français de la CIID. Le but était de présenter la technique et son importance dans le contexte marocain, d'en évaluer les avantages et les inconvénients, et d'encourager des recherches sur ce thème (Ababou, 1979). A partir des années 1980, des recherches ont effectivement été menées au Maroc sur l'irrigation au goutte à goutte, en particulier sur le pilotage de l'irrigation (e.g. Sirjacobs et Slama, 1983) et la normalisation des équipements (Laiti et al., 2005).

D'une pluralité de motivations vers l'objectif unique : l'économie d'eau

D'après Ababou (1979), trois grandes motivations étaient mises en avant pour promouvoir le goutte à goutte au Maroc : i) l'économie de main d'œuvre et la diminution de la pénibilité du travail grâce à l'automatisation du système d'irrigation ; le suivi d'irrigation demande moins de main d'œuvre, en comparaison avec le gravitaire et l'automatisation des arrosages des différentes parcelles facilite l'organisation du travail, ii) l'amélioration des produits agricoles en qualité et en quantité ; ceci est assuré par la rationalisation des apports d'eau et d'éléments fertilisants et une meilleure distribution intra-parcellaire, et conséquemment les rendements en seraient améliorés, iii) l'économie d'eau d'irrigation. Progressivement, une orientation semble être prise par le gouvernement marocain, de se centrer sur la valorisation et l'économie de l'eau dans un contexte où la quasi-totalité des ressources en eau de surface sont mobilisées et où la surexploitation des eaux souterraines est généralisée : « *Le contexte de rareté croissante des ressources hydriques nationales, accentuée par des sécheresses de plus en plus fréquentes et aiguës, a amené le Maroc à accorder un intérêt particulier à l'amélioration des performances des systèmes d'irrigation* » (El Gueddari, 2004). Les potentialités hydrauliques mobilisables au Maroc sont estimées à 20 milliards de m^3 dont 4 milliards de m^3 de ressources en eau souterraine (El Gueddari, 2001), alors que plus de 80% des ressources en eau mobilisées sont utilisées (Belghiti, 2009). D'après le Ministère chargé de l'eau, délégué auprès du Ministère de l'énergie et des mines, de l'eau et de l'environnement, le potentiel en eaux souterraines renouvelables s'élève à un peu plus de 3,8 milliards de m^3 répartis sur 80 grandes nappes et le volume des ressources en eau souterraine prélevée est estimé à 5 milliards de m^3 par an depuis 2005, ce qui est considéré comme excessif. Ce chiffre sous-estime probablement les prélèvements réalisés dans des zones où les puits et les forages ne sont pas déclarés. Selon le même Ministère, aujourd'hui les nappes phréatiques arrivent à saturation et le seuil critique est d'ores et déjà atteint dans la majorité des bassins versants.

L'irrigation localisée a progressivement pris une place importante dans les politiques de développement agricole. En 2002, la « *promotion des techniques modernes d'irrigation* » paraît clairement comme un des moyens d'action pour parvenir à un plan d'action global et multidimensionnel (El Gueddari, 2004). Le mouvement s'accélère véritablement à partir de 2007, avec le Programme National d'Economie d'Eau en Irrigation, qui vise à équiper 550 000 ha en irrigation localisée d'ici 2025 : « *la conversion aux modes d'irrigation véritablement économes en eau (essentiellement l'irrigation localisée) du*

maximum de superficie dans les conditions qui s'y prêtent le mieux (périmètres de Grande Hydraulique et Irrigation Privée) devient un impératif incontournable » (Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, 2007).

Plusieurs raisons étaient évoquées pour préférer l'irrigation localisée à d'autres techniques d'irrigation (cf encadré 1) :

1) Une meilleure productivité grâce à une bonne distribution de l'eau et des fertilisant dans la parcelle,
2) Une réduction des pertes d'eau grâce à une efficience théorique à la parcelle de 90%,
3) Une meilleure valorisation de l'eau puisque l'irrigation localisée se prête bien à des cultures à haute valeur ajoutée (arboriculture, maraîchage),
4) Une réduction du coût d'énergie par rapport à l'irrigation en aspersion (Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, 2007).

Encadré 1 : Les principales techniques d'irrigation

Généralement, trois grands types de techniques d'irrigation sont identifiés ; nous les présentons ici tels que définis dans la littérature de l'irrigation.

- **L'irrigation gravitaire** ou l'irrigation de surface regroupe l'ensemble des techniques d'arrosage dans lesquelles la répartition de l'eau à la parcelle se fait entièrement à l'air libre, par simple écoulement à la surface du sol. L'eau est ensuite distribuée au champ, soit par submersion (irrigation par bassins), soit dans des sillons en terre (irrigation par sillons) ou bien par ruissellement à la surface d'une planche d'arrosage (irrigation par planches) (Brouwer et al., 1990).
- **L'irrigation par aspersion** fait partie des techniques d'irrigation sous pression, elle requiert obligatoirement une mise en pression préalable de l'eau. L'eau parvient aux cultures d'une façon qui imite la chute naturelle de la pluie, grâce à l'utilisation de divers appareils de projection alimentés sous pression, choisis et disposés de façon à obtenir la répartition la plus uniforme possible de la pluviométrie (Pénadille, 1998). Dans la littérature l'efficience en irrigation par aspersion se situe le plus souvent entre 55% et 85%, en fonction de la maitrise technique des irrigants, du contexte climatique et des équipements (Pénadille, 1998).
- **L'irrigation localisée** est une méthode qui regroupe plusieurs systèmes de distribution de l'eau à la parcelle. Elle est caractérisée par la mise en place sur la parcelle d'un réseau dense de canalisation (rampes) couvrant totalement la surface à irriguer ; l'apport de l'eau au voisinage de la plante ; l'utilisation de faibles débits unitaires, et de faibles doses avec une fréquence d'apport élevée. L'efficacité de l'irrigation localisée est théoriquement excellente, avec une efficience d'irrigation pouvant atteindre 90 à 95% (Pénadille, 1998). D'après le même auteur, sur le plan international, différents termes sont utilisés pour désigner cette technique d'irrigation (drip, trickle ou micro-irrigation). **La micro-irrigation** est le terme choisi par la CIID (Téhéran 1976) en référence aux débits utilisés qui, contrairement à l'aspersion et à l'irrigation de surface, sont très faible.

L'irrigation au goutte à goutte est le terme utilisé par certains auteurs en référence à l'utilisation d'un type particulier de distributeur : le goutteur. Selon le FAO (Brouwer et al., 1990), l'irrigation au goutte à goutte consiste à amener l'eau sous pression dans un système de canalisations, généralement en PVC; cette eau est ensuite distribuée en gouttes au champ par un grand nombre de goutteurs répartis tout le long des rangées des plantations.

Par ailleurs, le PNEEI indique que la présence de grandes et moyennes exploitations dans les périmètres irrigués constitue un atout puisque ces exploitations peuvent jouer un rôle de « *leader en matière d'intensification et de modernisation de l'agriculture irriguée* ». A côté des objectifs d'économie et de valorisation de l'eau, le goutte à goutte est donc censé aussi contribuer à la modernisation de l'agriculture marocaine. C'est ainsi que le PNEEI est intégré dans l'ambitieux Plan Maroc Vert en 2008 comme « axe transverse » (cf. encadré 2). Identifié comme possible frein aux ambitions de

modernisation de l'agriculture, qui passe essentiellement par l'irrigation, l'eau doit être trouvée là où elle pourra se trouver. L'économie d'eau rendue possible par la reconversion des systèmes d'irrigation gravitaire vers l'irrigation localisée, en particulier le goutte à goutte, est donc sensé constituer une réponse à cette contrainte hydrique.

Encadré 2 : Le Plan Maroc Vert

A partir d'avril 2008, le Maroc s'est doté d'une nouvelle stratégie agricole « le Plan Maroc Vert » avec un investissement projeté de 110-150 milliards de dirhams sur 10 ans. Cette stratégie ambitieuse a comme objectif de réhabiliter l'agriculture marocaine, de la doter de moyens dont elle a manqué et d'en faire le principal moteur de croissance et de lutte contre la pauvreté au Maroc à l'horizon de 2020 (Akesbi, 2012). L'eau est considérée comme un facteur de production qui est surexploité (en particulier les eaux souterraines) et sous-valorisée. Le Plan Maroc Vert note aussi le coût « prohibitif » des investissements dans la mobilisation de ressources supplémentaires.

Le Programme National d'Economie d'Eau en Irrigation (PNEEI), qui avait été formulé en 2007, a ainsi été intégré dans les axes transverses du Plan Maroc Vert en 2008. Ce programme affiche une volonté de promouvoir des techniques d'irrigation économes en eau tel que le goutte à goutte pour *« produire plus et mieux, avec moins de ressources (en eau notamment) et de manière plus durable » (*Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, 2007). Il vise ainsi à atténuer la contrainte hydrique, considérée comme le principal facteur limitant à l'amélioration de la productivité agricole. La mise en place du PNEEI semble donc avoir pour objectif essentiel de permettre l'extension des superficies irriguées en goutte à goutte et à travers cela l'intensification agricole.

Dans les faits, l'irrigation localisée, et en particulier le goutte à goutte, a bénéficié de très importantes subventions de la part de l'Etat. Il est estimé que l'Etat a investi entre 2010 et 2012 plus de 3 milliards de dirhams dans des programmes de subvention pour le goutte à goutte, qui auraient eu comme corollaire un investissement privé des agriculteurs d'un montant équivalent voir plus sur leurs exploitations (infrastructure, plantations etc) (Boularbah, 2014). En 2012, les subventions pour le goutte à goutte (auxquels s'ajoutent des subventions pour l'épierrage) constituaient 52% du montant des subventions totales pour le secteur agricole (*ibid*). De ce fait, l'Etat est devenu un actionnaire important dans le développement du goutte à goutte au Maroc à côté des agriculteurs et du secteur privé (entreprises d'irrigation, importateurs…).

Actuellement, le goutte à goutte connait un développement important auprès des grands et des petits agriculteurs ; la superficie totale équipée est estimée à 359 847 ha en 2013 (le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, 2014). Dans un contexte de diversification de la demande pour les systèmes de goutte à goutte, cette technique a pu

séduire un nombre important d'acteurs non-conventionnels impliqués dans son adaptation (par exemple aux conditions des petites exploitations) et sa diffusion (Benouniche et al., 2014). En effet, des acteurs non-conventionnels, non impliqués officiellement dans le Programme National d'Economie d'Eau en Irrigation, comme par exemple les ouvriers chargés d'irrigation, les revendeurs locaux de matériel d'irrigation et des soudeurs, ont intégré le monde du goutte à goutte. Nous consacrons le chapitre 5 de cette thèse pour analyser l'implication de ces acteurs dans la production, l'utilisation et la diffusion de l'irrigation au goutte à goutte.

Le goutte à goutte mobilisé par différents acteurs pour atteindre leurs objectifs

Il y a donc un engouement important pour le goutte à goutte par une diversité d'acteurs qui le considère comme la « solution miracle » pour remédier à une longue liste de « contraintes » qui freinent la modernisation de l'agriculture irriguée : le manque d'eau, le coût de l'énergie, le manque de main d'œuvre, la faible productivité… A côté de ces arguments rationnels, mis en avant par l'Etat dans son Programme National d'Economie d'Eau en Irrigation et habituellement mentionnés aussi par les agriculteurs, le goutte à goutte véhicule des valeurs auxquelles beaucoup d'acteurs veulent s'associer : efficience, productivité, modernité (Venot et al., 2014). De jeunes agriculteurs mettent ainsi en avant le goutte à goutte comme un moyen de faire une agriculture « moderne » pour se libérer d'une « agriculture d'hier » (Quarouch et al., 2014). L'Etat, pour sa part, semble atteindre ses préconisations sur une agriculture plus efficiente (en eau) et plus productive à travers des programmes de reconversion de l'irrigation gravitaire vers le goutte à goutte. En plus, à travers ce programme de subventions le Ministère en charge de l'agriculture a construit une image de modernité et d'efficacité à travers l'extension rapide des superficies irriguées équipées en goutte à goutte (faire plus avec moins d'eau) et a drainé de nombreux financements publics vers le secteur agricole. Encore plus près de nous, les élèves et futurs ingénieurs du Génie Rural sont attirés par la thématique du goutte à goutte et pensent systématiquement à cette technique pour faire face aux problèmes d'irrigation. Enfin, le *business* du goutte à goutte mobilise aussi de nombreux acteurs privés impliqués dans la production et la diffusion du goutte à goutte. Sociétés d'importation et de production de matériel d'irrigation, sociétés d'installation, revendeurs… tous ces acteurs économiques contribuent à cette expansion rapide, tout en profitant de l'aubaine des subventions publiques. La technique d'irrigation au goutte à goutte a donc séduit plusieurs acteurs pour atteindre des objectifs annoncés et souvent associés au goutte à goutte.

Economie d'eau : Un non objectif pour tous les acteurs ?

Le concept d'économie d'eau revient dans tous les discours officiels et dans les entretiens avec les agriculteurs. Il est souvent évoqué pour justifier la promotion de la technique d'irrigation au goutte à goutte, comme l'illustre l'intitulé du vaste Programme National d'Economie d'Eau en Irrigation. Ce concept ancien est apparu dans les débats

sur la gestion de la demande en eau à la fin des années 1990 (Margat et Vallée, 1999). Il s'agissait de « *modérer la croissance des demandes et même à les diminuer en favorisant les économies d'eau, en améliorant les efficiences d'usage* » (Margat et Vallée, 1999). L'idée étant que la réduction des pertes constituait un « *gisement* » compétitif - 130 km^3/an d'ici 2025 à l'échelle mondiale, très intéressant si on le compare à la difficulté de mobilisation de nouvelles ressources en eau (gestion de l'offre). Cependant, le concept d'économie d'eau a suscité de vives critiques dans la littérature de par son ambiguïté (e.g. Seckler et al., 2003). Les pertes et les degrés d'efficience à l'échelle locale influencent la disponibilité de l'eau à l'échelle d'un bassin versant. Quand un agriculteur améliore l'efficience d'irrigation à la parcelle, par exemple, et utilise cette eau pour adopter des cultures plus consommatrices en eau ou pour étendre sa superficie irriguée, il restitue moins d'eau aux dépens d'autres utilisateurs. En replaçant l'eau d'irrigation dans le cycle global de l'eau d'un bassin versant, l'économie d'eau observée à la parcelle ne représente souvent qu'un transfert de l'eau d'un utilisateur vers un autre, et non pas une économie d'eau à des échelles plus importantes (Molle et al., 2004).

Le Programme National d'Economie d'Eau en Irrigation (PNEEI) fait référence à une diminution des pertes à l'échelle de la parcelle : « *c'est d'abord au niveau de la parcelle que les économies d'eau doivent être le plus recherchées, car c'est à ce niveau que le gisement se trouve* » (Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, 2007). C'est ainsi que l'effort de l'Etat sera désormais focalisé sur la promotion de l'irrigation localisée : « *Le grand gisement d'économie d'eau étant identifié dans l'exploitation agricole, l'incitation à l'économie d'eau constitue un levier déterminant pour concrétiser les objectifs d'amélioration de l'efficience de l'irrigation* » (El Gueddari, 2004).

Le PNEEI se réfère à une diminution des pertes à la parcelle dans l'utilisation de l'eau par l'agriculture, basée sur l'efficience supposée du goutte à goutte. Le PNEEI considère l'irrigation au goutte à goutte comme la technique « *la plus efficiente avec des résultats atteignant les 90% d'efficience sinon plus* » comparée à l'irrigation en gravitaire considérée comme la moins efficiente, généralement créditée au Maroc de ne pas dépasser les 50 à 60%. Le programme prévoit une économie d'eau globale de 826 millions de m^3/an, repartie entre les périmètres de grande hydraulique et les zones d'irrigation privée. Selon le PNEEI, les périmètres de petite et moyenne hydraulique ne sont pas exclus du programme car les subventions sont « *ouvertes pour tout le territoire national pour les trois types d'irrigation* », i.e. grande hydraulique, petite et moyenne hydraulique et l'irrigation privée. Cependant, le PNEEI considère la reconversion vers l'irrigation localisée dans ces périmètres peu probable car « *pénalisée dans ce domaine par la nature des tours d'eau traditionnels* ». La plus grande partie de la réduction des pertes se trouve dans les périmètres de grande hydraulique, estimée à 514 millions de m^3/an. Mais d'après le PNEEI, la grande hydraulique se trouvant déjà dans un déficit structurel : « *l'économie d'eau ne permettra pas… de dégager un excédent, mais… un usage plus productif* ». Seuls les 312 millions de m^3/an économisés dans des zones d'irrigation privée contribueraient à diminuer la pression sur les ressources en eau (en particulier les eaux souterraines), ce qui correspond à moins de 2% du volume d'eau annuel

mobilisable au Maroc (estimé à 17 milliards de m^3). Le chiffre avancé de 826 millions de m^3/an est certes ambitieux, mais en réalité trompeur, car l'économie d'eau ne représente qu'une partie infime du programme. L'objectif principal semble surtout lié à la productivité agricole et à la valorisation de l'eau : « *le véritable gisement d'économie d'eau… se situe au niveau de l'amélioration de la productivité et de la valorisation de l'eau. En d'autres termes, il s'agit de produire d'avantage de richesse (de production agricole, de valeur ajoutée, d'emplois…) par m^3 d'eau* » (Belghiti, 2009).

D'après le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime (2014), la superficie totale équipée en goutte à goutte fin 2013 est estimée à environ 359 850 ha (fig. 1). Ce chiffre ne correspond pas à la superficie totale réellement équipée en goutte à goutte au Maroc, il sous-estime les superficies aménagées sans le recours financiers de l'Etat. En effet, *« la superficie totale représente les superficies équipées dans le cadre du PNEEI et les superficies non subventionnées ; pour les statistiques on demande toujours aux différentes DPA et ORMVA, les superficies subventionnées et non subventionnées, ces dernières sont souvent estimées »* (Responsable au Ministère en charge de l'agriculture, 2014). On constate une augmentation considérable des superficies équipées en goutte à goutte à partir de 2008, dues probablement au lancement du PNEEI, avec un taux de subvention qui atteint les 100%. En 2001, nous avons remarqué qu'il y a également une augmentation surprenante des superficies équipées en goutte à goutte. La superficie équipée était de 8 220 ha/an en 2000 et passe à 30 583 ha/an en 2001 (fig.1). Ceci est sans doute un artefact dû à la mise à jour des données statistiques avant le lancement du programme d'économie d'eau en 2002.

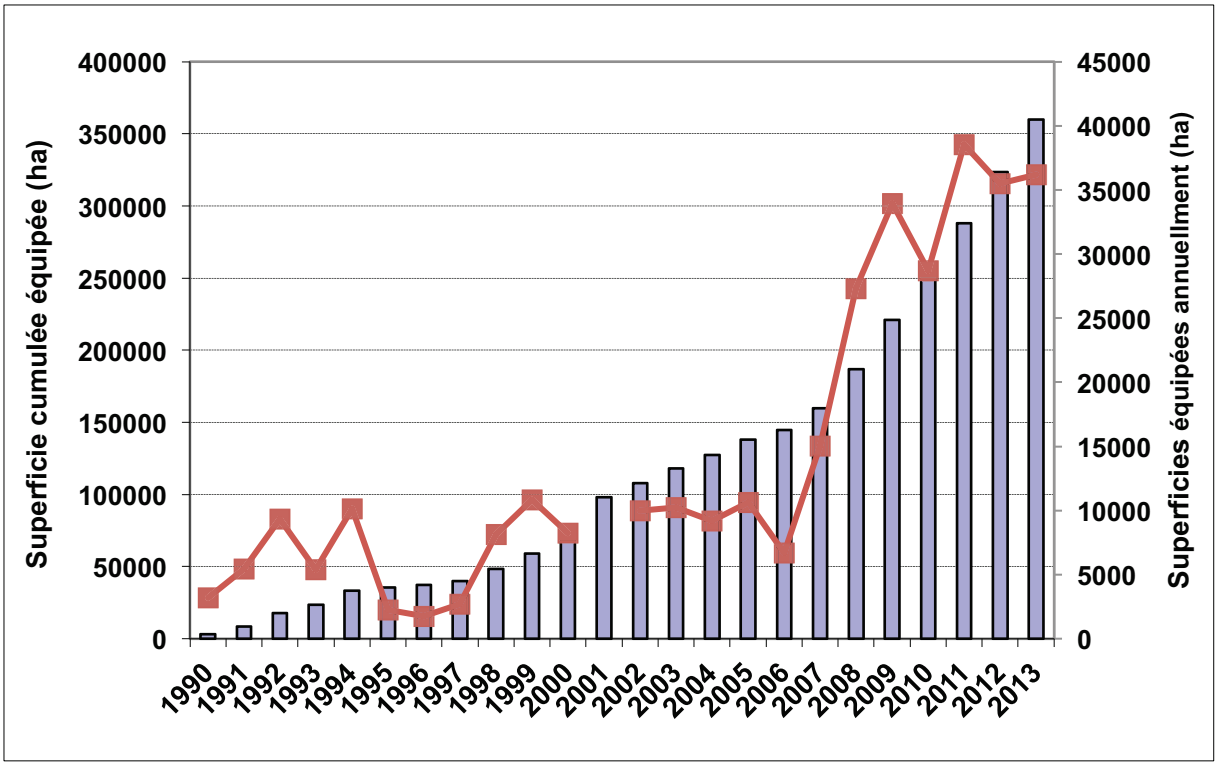

Figure 1. Evolution des superficies équipées cumulées et annuellement en goutte à goutte au Maroc (source : Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, 2014).

La plaine du Saiss, une dynamique importante autour du goutte à goutte, et une zone cible pour l'économie d'eau

Cette thèse a eu pour terrain d'étude la plaine du Saïss, à proximité des villes de Meknès et Fès au nord du Maroc. Le Saïss est considérée comme une riche région agricole (Berriane, 2002). Déjà en 1928, Bourotte (1928) prévoit l'avenir prometteur de la plaine. *« Depuis cette date* [i.e. le début du Protectorat] *jusqu'en 1923, 10 000 hectares ont été livrés chaque année à la colonisation. La région de Meknès a été une véritable découverte et des plaines immenses de palmiers très denses ont été divisées en lots de 150 à 200 hectares; en deux ans, tout était défriché et on trouve là actuellement le plus bel effort dû à la colonisation officielle. Les résultats sont certains grâce au régime régulier des chutes d'eau, 550 à 600 mm de moyenne et de nombreuses possibilités d'irrigation. On en peut prévoir l'avenir magnifique qu'attend cette région où les terres atteignent déjà 5.000 francs l'hectare. Toutes les cultures fruitières y sont possibles et donnent des résultats surprenants, ce sera peut-être une nouvelle Californie* » (Bourotte, 1928). Pendant la plus grande partie du 20ème siècle, les systèmes de production agricole dans le Saïss ont été caractérisés par l'agriculture pluviale (céréales, vignes) et dans une moindre mesure par des cultures irriguées (tabac, vergers, maraichage) dans un certain nombre de petits périmètres d'irrigation utilisant de l'eau de sources.

En raison des sécheresses ayant sévi dans les années 1980 et 1990, et l'arrivée d'investisseurs attirés par la défiscalisation de l'agriculture et bénéficiant de la faiblesse dans laquelle se trouvaient de nombreuses exploitations agricoles, Les agriculteurs ont eu progressivement mais toutefois, massivement recours à l'utilisation des eaux souterraines par des puits et des forages individuels. D'après le Ministère en charge de l'agriculture, la superficie irriguée était, en 2012, de 49 677 ha (sur un total de 220 000 ha) dont 45 316 ha dépendent de l'irrigation par pompage. L'Agence de Bassin Hydraulique du Sebou (ABHS) estime le nombre actuel de puits et forages à 12 000, dont la plupart ne sont pas officiellement enregistrés. Le bilan alarmiste de l'agence de bassin fait état d'une ressource en phase de surexploitation (PDAIRE, 2009). Les niveaux de la nappe phréatique auraient baissé de 10 m en moyenne entre 1980 et 2005 avec un déclin plus rapide après 2000 (1 m/an). En ce qui concerne la nappe profonde, le déclin est encore plus prononcé avec une baisse de 65 m entre 1979 et 2004 (2,6 m/an) dans la région de Meknès.

L'accès à l'eau souterraine a entraîné une forte augmentation de la superficie consacrée aux vergers (42% de la superficie irriguée) et au maraichage (35%). Alors qu'un peu plus de la moitié de la superficie irriguée est actuellement desservie par l'irrigation au goutte à goutte (ABH). Il y a une pression croissante sur les ressources en eaux souterraines dans le Saïss, et d'après le PNEEI, dans des zones à irrigation privée comme le Saïss, l'irrigation au goutte à goutte peut réduire le volume d'eau utilisé pour l'agriculture grâce à une augmentation de l'efficience de l'irrigation à l'échelle de la parcelle.

Les zones telle que la plaine du Saïss sont considérées comme des zones à irrigation privée, et sont, à cette enseigne particulièrement concernées par le Programme National d'Economie d'Eau en Irrigation afin de réduire la pression sur les eaux souterraines par la reconversion des systèmes irrigués existants en système l'irrigation localisée. De fait, le PNEEI prévoit une économie d'eau dans les zones à irrigation privée *« au niveau des exploitations à convertir à l'irrigation localisée au titre du PNEEI, qui rappelons le, sont irriguées essentiellement par les eaux souterraines est estimée à 312 Mm^3/an à partir du volume moyen tiré des nappes par ce type d'irrigation »* (PNEEI, 2007). Dans le Saïss, la Direction Régionale de l'Agriculture prévoit ainsi la reconversion de 10 000 ha vers l'irrigation localisée pour une économie de 20 millions de m^3. La plaine du Saïss figure donc parmi les zones privilégiées pour l'économie d'eau, et connaît une dynamique agricole importante, ainsi qu'une forte pression sur les ressources en eau souterraines. Ces dimensions justifient le choix de cette zone pour réaliser nos travaux de thèse.

1.2. Le goutte à goutte et le chercheur

La construction de la réflexivité d'ingénieur : « *The Reflexive engineer* »

Dans cette partie, je décris ma rencontre avec le goutte à goutte dans mon parcours professionnel, et à travers cette rencontre, la construction et l'évolution de ma réflexivité d'ingénieur tout au long de ma formation d'ingénieur, puis comme chercheur

en sciences de l'eau. En effet, j'ai suivie d'une formation initiale d'ingénieur en hydraulique agricole dans deux différentes écoles d'ingénierie à l'Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture d'Alger (ENSA) et à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II à Rabat (IAV). En parallèle, j'ai intégré progressivement, à travers des stages collectifs de terrain, une équipe de recherche pluridisciplinaire, le réseau de compétences en partenariat SIRMA (Systèmes Irrigués au Maghreb).

Ces formations m'ont permis de confronter la théorie aux réalités de terrain. La construction progressive d'une réflexivité d'ingénieur explique en grande partie les orientations prises dans cette thèse, qui s'est construite dans une interaction entre la littérature scientifique, le terrain, et ma formation, acquise dans les écoles d'ingénieur. Je postule que la réflexivité ainsi construite m'a permis de comprendre un processus d'innovation technique en train de se faire, en occurrence le développement, la production, l'utilisation et la diffusion du goutte à goutte. Pour ce faire, j'ai mobilisé mes compétences en hydraulique agricole tout en explorant d'autres cadres théoriques issus des sciences sociales, en particulier les travaux sur les processus d'innovation. Cette réflexivité accroit la complexité du regard sur l'objet d'étude au-delà de l'aspect technique (performances de l'irrigation et économie d'eau), et de ce fait accroît les exigences requises pour mener un processus de recherche. Kadiri (2012) en s'inspirant de Callon et al, (2001) souligne aussi l'importance de cette interaction : « *Etre à la fois chercheur en sciences sociales et ingénieur agronome ne va pas sans quelques répercussions, fruits d'une découverte mutuelle entre logique technique et logique de l'observation, que nous qualifions de configuration hybride propre à notre parcours multidisciplinaire… Le processus de production et d'application des connaissances scientifiques tient précisément à l'articulation entre prise de distance et proximité, fabrication et réalisme, intéressement et désintéressement* ».

Dans ce travail, la réflexivité est un construit qui m'a permis de remettre en question la méthodologie initiale en fonction des observations de terrain, et les interactions avec des chercheurs dans une équipe pluridisciplinaire pour expliquer la diffusion et le développement et la production du goutte à goutte. En effet, j'ai questionné en permanence ma méthodologie de recherche et je l'ai systématiquement mis en discussion après chaque étape de recherche pour faire évoluer mes questionnements et ma méthodologie.

La réflexivité de l'ingénieur a fait l'objet d'un débat intéressant dans la littérature. Robbins (2007) n'était pas « tendre » quand il identifiait quatre traits du caractère de l'ingénieur : 1) sa *suffisance*, car l'ingénieur estime qu'il est, par son sens pratique et sa rationalité, mieux placé que d'autres dans la société pour résoudre des problèmes sociaux, 2) sa *préférence pour le statu quo* sur le plan politique et institutionnel où il se rapproche des centres de pouvoirs pouvant faire réaliser ses projets techniques, et 3) une sensibilité pour la *rationalité économique* perçue comme déterminant de ce qui est possible sur le plan technique (selon Pascon, 1980b, la rationalité est la raison d'être de l'ingénieur, qui lui permet de trouver sa place dans la société et de vivre et de fondre son

prestige) et 4) son ambition d'a*méliorer des produits ou processus existants,* perçus comme non-fonctionnels ou inefficients. Il est l' « accoucheur » de la meilleure des solutions possibles, car elle découle de la nature quantifiée et des calculs scientifiques (Pascon, 1980b).

Construire une réflexivité d'ingénieur voudra donc dire une remise en cause de tels traits, prendre en considération le milieu social, économique et politique dans lequel la technique s'opère, et accepter que les solutions proposées par l'ingénieur ne sont pas forcément les meilleures ni les seules : « *La pure logique technique, qu'elle soit hydraulique, agronomique ou économique, ne permet au mieux que d'exclure un temps l'homme vivant, et la société réelle du champ du raisonnement pour retrouver les délices des parfaites équations* (Pascon, 1980a) ». De ce fait, une prise en compte de l'environnement social est cruciale pour l'action de l'ingénieur : « *L'autonomie de la technique par rapport au social est illusoire. Le technicien peut bien déclarer ne pas vouloir entrer dans le jeu social et se retirer au service de la pure technique, mais cette retraite est une fuite sans fin car, de ce fait, le technicien se rend de moins en moins autonome, de plus en plus instrument d'une action sociale et politique décidée par ceux qui l'emploient* » (Pascon, 1980a).

Première école d'ingénierie : Initiation au goutte à goutte et à la réflexivité d'ingénieur

A l'Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture (ENSA) d'Alger, la formation en hydraulique agricole était orientée vers la technique et les bases fondamentales de l'hydraulique agricole. Les connaissances accumulées étaient essentiellement techniques et hydrauliques ; elles participaient à construire notre rationalité technique comme future ingénieur. En effet, la formation nous permettait de manipuler et mobiliser des équations et des formules pour résoudre différents problèmes hydrauliques.

L'irrigation localisée n'occupait qu'une place infime dans ce cursus académique. Dans le module théorique dédié à l'irrigation localisée, la technique du goutte à goutte avec ses composantes techniques a été présentée comme une technique d'irrigation parmi d'autres, et n'a pas attiré particulièrement mon attention. Cependant, le département de formation était en pleine ouverture sur des stages collectifs de terrain. Ces stages étaient organisés dans le cadre d'un projet de recherche au Maghreb, le projet SIRMA (Systèmes Irrigués au Maghreb). Ils avaient pour vocation de regrouper des étudiants, des chercheurs et formateurs de différentes spécialités et des professionnels agricoles de trois pays du Maghreb sur un territoire irrigué durant deux semaines. On devait travailler en groupe avec des étudiants de profils et de formations différentes, partager nos points de vue et les défendre, mais aussi accepter les points de vue des autres étudiants. Nous étions dans une situation où nous devions comprendre mais aussi produire des connaissances lors des restitutions en fin de journée et des recommandations. Chose qui est impossible en cours à Alger, où nous étions essentiellement en position de recevoir de l'information et de résoudre des problèmes.

Durant ma formation d'ingénieur, j'ai eu la chance de participer à trois stages avec des thématiques et des terrains différents. Le premier stage coïncidait avec ma première rencontre avec le terrain et ses réalités. Pendant ce stage j'ai pu consolider essentiellement mes connaissances théoriques à travers une application de mes bases en hydraulique agricole. Le deuxième m'a permis d'intégrer une équipe d'agronomes qui incluaient les sciences sociales dans leurs analyses, ce qui a permis d'élargir mon champ de vision disciplinaire, et d'admettre que la théorie reçue durant notre cursus n'était pas l'unique savoir, et que les disciplines se complètent. Le troisième stage offrait l'opportunité d'un brassage des connaissances acquises durant les deux premiers stages.

Le premier stage (Fatnassa en Tunisie) : application des bases de l'hydraulique agricole et identification des lacunes dans la formation initiale

Le premier stage s'est déroulé dans le sud Tunisien dans l'oasis de Fatnassa (gouvernorat de Kebili). Nous étions en conditions réelles de terrain avec des étudiants de la même spécialité (Génie Rural) mais d'écoles d'ingénierie différentes : Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II (IAV) et Institut National Agronomique de Tunis (INAT). Nous étions encadrés par une équipe qui regroupait différents chercheurs, enseignants-chercheurs et des doctorants en science de l'eau d'institutions du monde de la recherche et de l'enseignement (CIRAD, ENSA, INAT). Ce stage fut pour nous une formation d'application qui venait compléter notre formation essentiellement théorique à l'ENSA. En effet, le stage à Fatnassa nous a permis : 1) d'appliquer les bases de l'hydraulique agricole, 2) d'effectuer nous-mêmes des mesures avec différentes méthodes selon les contraintes de terrain et de se familiariser avec les instruments de mesures, par exemple mesurer le débit dans un canal d'irrigation avec les différentes méthodes possibles sur le terrain, ou encore de mesurer le degré de salinité de l'eau, et 3) d'interpréter ces mesures et de les discuter avec des chercheurs et des spécialistes dans le domaine. Durant ce stage, nous fûmes amenés à travailler et à discuter nos points de vue avec d'autres étudiants de formation différente à la nôtre. Cela nous a permis d'identifier des lacunes dans notre formation et nos connaissances, comme par exemple la maitrise des logiciels.

Le deuxième stage (Gharb au Maroc) : intégration dans une équipe d'agronomes portée sur les sciences sociales ; remise en cause disciplinaire, incompréhensions, apprentissages et doutes.

Nous avons effectué notre deuxième stage dans le périmètre irrigué du Gharb (Maroc). Contrairement au premier stage, nous étions amenés à travailler avec une équipe d'agronomes portée essentiellement sur les sciences sociales. En effet, nous avons partagé le stage avec des étudiants de l'Ecole Nationale d'Agriculture de Meknès (ENAM) qui étaient orientés vers les sciences sociales (département « ingénierie de développement »), et nous étions encadrés par des enseignant-chercheurs et des doctorants de la même discipline. Au cours de ce stage nous avons rencontré deux types de difficulté : 1) faire des entretiens avec les agriculteurs en présence des étudiants de l'ENA ; ils étaient toujours les premiers à prendre la parole et mener les entretiens avec

les agriculteurs. Contrairement à nous, ils prétendaient maitriser les bonnes méthodes et outils pour mener les entretiens sur le terrain, 2) les sujets proposés lors du stage s'éloignaient de la technique et de notre formation initiale ; ils portaient sur les sciences économiques et sociales (par exemple : Etude de la filière de la canne à sucre dans le Gharb). Les quinze jours passés sur le terrain, en contact avec les enseignants-chercheurs et les étudiants, nous ont permis de dépasser ces difficultés. Nous avons appris à mener des entretiens, à écouter et à observer l'agriculteur, le considérer comme une personne ressource importante et détenteur de savoir, et non pas comme une personne dans le besoin de solutions à des problèmes. D'un autre côté, le partage était aussi riche dans l'autre sens avec les étudiants spécialisés en hydraulique agricoles autour des aspects liés au fonctionnement d'un périmètre irrigué et aux techniques d'irrigation.

Durant ce stage, en tant qu'élève ingénieure hydraulicienne, j'ai appris à comprendre et saisir la nécessité des approches pluridisciplinaires, utiles à un élève ingénieur en fin de cursus pour une compréhension plus complète des différents sujets proposés lors du stage. Je n'avais jusque-là appris que des approches spécialisées et je ne rencontrais que des ingénieurs issus de la même spécialité. Nous fûmes amenés à réfléchir, à comprendre, et surtout à discuter et défendre nos points de vue avec d'autres étudiants de formations et de disciplines différentes de la nôtre, car dans la majorité des présentations nous n'étions pas d'accord avec les étudiants de l'ENA de Meknès sur les conclusions et les recommandations formulées le soir lors de la restitution. Nous avons appris à défendre nos points de vue, et à mobiliser les bons arguments pour les défendre. Cela nous a permis d'ouvrir notre champ de vision et de s'apercevoir que la théorie que nous avions reçue durant notre cursus n'était pas l'unique savoir valable et que les disciplines se complètent.

Le troisième stage (Haouz) : retour au Génie Rural, mais avec un « bagage » à la fois en termes d'appréhension d'un terrain d'étude et de méthodes d'enquêtes.

Mon stage dans le Haouz, dans la région de Marrakech, était différent des deux premiers stages. J'étais essentiellement dans une situation d'application des connaissances et d'expériences accumulées durant ma formation. Nous avons effectué ce stage avec des étudiants de cinquième année en Génie Rural de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, nous étions encadrés par des chercheurs et professeurs orientés dont les disciplines étaient essentiellement le Génie Rural.

Ce stage m'a permis de remettre en cause deux traits de caractère de l'ingénieur, à savoir 1) « *son ambition d'améliorer des produits ou processus existants, perçus comme non-fonctionnels ou inefficients* », et 2) le fait qu'il se considère comme étant « *l'accoucheur de la meilleure des solutions possibles, car elle découle de la nature quantifiée et des calculs scientifiques* » (Pascon, 1980b). En effet sur le terrain, nous avons étudié le fonctionnement d'une seguia destinée à l'irrigation et les différents arrangements autour de la distribution de l'eau. Dans un premier temps, nous nous

sommes intéressés au sujet pour identifier les problèmes de fonctionnement de cette seguia et proposer par la suite des solutions aux usagers. Mais, une fois l'étude de fonctionnement et de partage de l'eau de la seguia (entre les agriculteurs) effectuée, nous avons constaté qu'il n'y avait guère de problème de partage de l'eau. Les agriculteurs réussissaient à gérer la distribution de l'eau sans l'intervention de l'ingénieur ou ses calculs scientifiques. Nous nous sommes alors intéressés à comprendre comment se fait le partage de l'eau et comment les agriculteurs arrivent à avoir la même quantité d'eau. Le soir, lors des restitutions, au lieu de présenter des problèmes identifiés et solutions possibles, nous avons présenté le fonctionnement de la seguia et les arrangements entre usagers. Nous avons mobilisé alors les différents outils de mesures de débit, et les méthodes d'enquêtes.

Ce stage m'a permis de mobiliser les différents outils de mesures et de calculs spécifiques à un ingénieur hydraulicien mais aussi de mobiliser différentes méthodes et astuces d'enquêtes sur le terrain. Cela m'a permis de confirmer que la meilleure solution n'est pas toujours entre les mains de l'ingénieur et que l'agriculteur peut être considéré comme acteur et associé sur le terrain, l'ingénieur n'est pas le seul, ou mieux placé que d'autres dans la société pour résoudre des problèmes liés au fonctionnement d'un périmètre irrigué.

L'IAV : Ouverture sur le goutte à goutte et ses « coulisses »

Une fois menée à terme la formation à l'ENSA, j'ai poursuivi mes études à l'Institut agronomique et vétérinaire Hassan II (IAV) dans le cadre du Master spécialisé en irrigation et maitrise de l'eau. Cette formation était complémentaire par rapport à ma formation initiale, car très orientée vers l'irrigation au goutte à goutte. En effet, j'étais impressionnée par l'importance accordée à cette technique pendant le cursus au département du Génie Rural.

Contrairement à l'ENSA, à l'IAV, le goutte à goutte occupait une place importante dans la formation du futur ingénieur à une période où le Programme National d'Economie d'Eau en Irrigation se mettait en place. Une grande partie des étudiants était convaincue qu'ils allaient travailler dans ce secteur d'activités et ils étaient donc motivés pour apprendre ce sujet. En plus du cours consacré aux techniques d'irrigation, un module spécial était dédié à l'irrigation localisée. Ce module était essentiellement orienté vers l'aspect technique du goutte à goutte, et permettait d'obtenir un bagage technique qui concernait le projet d'irrigation au goutte à goutte dans son ensemble : les composantes d'un système d'irrigation en goutte à goutte, le choix de ses composantes, le dimensionnement d'un réseau d'irrigation au goutte à goutte pour différentes cultures et contraintes de terrain (topographie). A la fin du module, nous étions capables de concevoir un projet de dimensionnement d'un réseau d'irrigation au goutte à goutte. Nous étions censés savoir dimensionner un réseau d'irrigation localisé et maitriser tous les outils de dimensionnement et les paramètres permettant le contrôle du bon fonctionnement du système (uniformité de distribution, pression, fertigation…). La

formation mettait essentiellement l'accent sur le dimensionnement, les performances et l'efficience du goutte à goutte. Tout au long de ce processus d'apprentissage, l'agriculteur, le principal utilisateur de cette technique, était absent. La réussite de la technique dépendait essentiellement, pour ne pas dire uniquement, d'un bon dimensionnement, avec le respect des normes techniques considérées comme les références essentielles de l'ingénieur qui, grâce à ses normes, devient le « maitre » de la technique. A lui seul revenait l'objet technique qu'est le goutte à goutte.

Dans l'objectif d'approfondir mes connaissances et de les appliquer sur le terrain, j'ai ensuite effectué un stage pratique dans un bureau d'étude représentant, de la compagnie NETAFIM en Algérie, considérée parmi les plus grandes compagnies de fabrication et de commercialisation du matériel d'irrigation au goutte à goutte dans le monde. Ce stage a renforcé mon bagage technique acquis durant toute ma formation en Génie Rural à l'ENSA et à l'IAV. En effet, j'ai participé au dimensionnement de grandes parcelles (100 ha) et de vrais projets de terrain, en mobilisant de nouveaux outils de travail comme les logiciels de calculs de pressions et de diamètres des conduites. J'étais entourée par une équipe d'ingénieurs dynamiques qui vénérait leur travail. La totalité des projets étaient destinés aux grands agriculteurs. Le stage au sein de ce bureau d'étude consolidait ainsi l'image où les qualités attribuées à la technique d'irrigation au goutte à goutte la présentait comme une technique « moderne » destinée essentiellement « aux grands agriculteurs » et contrôlée par « les ingénieurs ».

Le mémoire de Master réalisé dans le cadre du cursus à l'IAV fut une étape très importante dans ma formation. J'ai travaillé sur un projet pilote de reconversion collective de l'aspersion vers le goutte à goutte au sein de trois coopératives de la réforme agraire (436 ha) dans le périmètre irrigué du Gharb au Maroc. Le projet a été proposé par l'administration agricole dès 2003, suite aux plaintes que les agriculteurs exprimaient vis-à-vis de la dégradation du matériel d'irrigation existant et du coût de l'eau élevé, puis repris par l'industrie sucrière qui souhaitait assurer la production sucrière (Benouniche, 2008). En 2008, ce projet était considéré comme un grand projet pilote, et une publicité importante était dédiée à ce projet, de la part de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Gharb, gestionnaire du périmètre. J'étais curieuse et enthousiaste pour étudier ce projet collectif de reconversion ; son fonctionnement et son dimensionnement. Une fois sur le terrain, accompagnée par l'ingénieur du bureau d'étude, je fus impressionnée par l'installation complète (filtres à sable, manomètres, compteurs, filtres à disque, système de fertigation) et comportant du matériel de pointe. Les installations étaient réalisées sur les bornes collectives d'irrigation sous pression du système aspersif existant. Le système technique comportait une station de tête collective et était ensuite divisé entre les différentes exploitations, chacune possédant sa propre station de tête pour la fertigation. Le système a été conçu pour que tous les agriculteurs puissent irriguer en même temps. J'avais assisté aux mesures de performances hydrauliques et étudié les plans de dimensionnement du projet avec l'ingénieur du bureau d'étude chargé de l'étude. Tout semblait « parfait » et conduisait à un présage

d'une probable réussite du projet, c'est-à-dire un bon fonctionnement et une diminution des volumes d'eau consommés.

Cependant, la mise en marche de ce système de goutte à goutte collectif allait révéler de nombreux problèmes : i) des fuites au niveau de l'installation de tête, ii) des pratiques d'irrigation recommandées par l'ingénieur non adaptées aux besoins des agriculteurs, iii) une conception technique ne répondant pas aux attentes des agriculteurs. Ces derniers ont ensuite développé leurs propres pratiques d'irrigation, et ont introduit des adaptations sur l'installation initiale. Ils ont par exemple enlevé le système de fertigation et les filtres à disques, ou encore remplacé les composantes initiales par d'autres composantes disponibles sur le marché local. Les agriculteurs étaient capables d'introduire eux-mêmes des modifications sur l'installation sans faire appel à l'ingénieur du bureau d'étude, certains d'entre eux faisaient appel à des installateurs locaux. Ces derniers étaient des anciens ouvriers qui avaient appris à manipuler le goutte à goutte dans les grandes fermes de la zone côtière toute proche.

Mon travail de Master m'a permis : i) d'identifier tous les acteurs impliqués dans le processus d'installation et de conduite du goutte à goutte et les rendre plus visibles, y compris des acteurs non formellement identifiés ; sur ce point, les résultats de mon travail entraient en résonance avec ceux obtenus par Julie Poncet qui a étudié le rôle des intermédiaires dans la mise en place et le fonctionnement du goutte à goutte (Poncet et al., 2010), ii) de m'intéresser aux pratiques des agriculteurs, en plus des performances d'irrigation afin de déterminer les volumes d'irrigation mobilisés ; iii) d'identifier et de comprendre le pourquoi des pratiques des agriculteurs qui « déviaient » des normes recommandées, les pratiques d'irrigation recommandées par l'ingénieur n'étant pas forcément les plus adaptées. J'ai montré que les pratiques devaient prendre en considération des contraintes de terrain mais aussi des problèmes sociaux, des habitudes et logiques des agriculteurs. J'ai aussi compris que l'agriculteur devait être intégré en amont du projet et être allié à l'ingénieur du bureau d'étude pour le dimensionnement et pour la mise en place des pratiques d'irrigation recommandées ; et iv) de comprendre que, même en cas d'une « grande » installation, le goutte à goutte ne fonctionne pas nécessairement selon les attentes des ingénieurs ; les agriculteurs sont capables de manipuler le goutte à goutte et de l'adapter en fonction de leurs conditions et de créer d'autres types d'installations de goutte à goutte.

Le jeune chercheur face à la complexité de l'objet technique et son environnement

Le travail entrepris pendant mon master m'a donné le goût de la recherche et j'ai cherché à approfondir ma compréhension de l'insertion d'un objet technique tel que le goutte à goutte en milieu rural, par le biais d'une thèse de doctorat. Dans un souhait d'ouverture scientifique et culturelle, j'ai pris la décision d'une double inscription en thèse à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II (IAV) et à l'Université Montpellier II. Dans un premier temps, il s'agissait de faire des lectures et de rencontrer des spécialistes du domaine de l'irrigation pour confronter mes observations de terrain

à d'autres regards sur le rural marocain, mais aussi de façon plus générale sur les processus d'innovation technique. Sur le rural marocain, j'ai profité considérablement de la réflexion de longue date à l'IAV sur la place de l'ingénieur dans la société, et sur le rapport entre la technique et le social, portée par l'équipe de Paul Pascon. Un patrimoine considérable, écrit et oral, existe à l'IAV et ce patrimoine m'a accompagné tout au long de la thèse. Sur les processus d'innovation, j'ai effectué des lectures qui m'ont permis de replacer l'objet technique qu'est le goutte à goutte dans ses interactions avec les acteurs. Durant mon parcours, j'ai eu aussi des entretiens et des rencontres avec des thésards et des chercheurs d'autres disciplines au CIRAD, à l'IRSTEA ou encore à l'université de Wageningen. Durant nos discussions, j'ai commencé à voir l' « autre côté » de la technique du goutte à goutte et l'influence de l'environnement sur le développement de cette technique.

Ce premier travail de réflexion a fait l'objet d'un article publié dans la revue *Cahiers Agricultures* (cf. chapitre 2) sur la base du matériau empirique recueilli pendant mon travail de master dans le périmètre du Gharb, en le croisant avec les résultats de Julie Poncet, qui faisait une étude dans la zone côtière du Gharb. Cette zone non aménagée par l'Etat, correspondait à une zone d'irrigation privée où le goutte à goutte a été introduit bien avant la zone aménagée. Cette zone sableuse et vallonnée, restée initialement à l'écart du développement agricole industriel du périmètre du Gharb, a su se développer grâce à un accès à l'eau souterraine par des puits individuels et l'aménagement en goutte à goutte, au point de constituer un exemple pour les agriculteurs de la zone aménagée. Ceux-ci ont commencé à dialoguer avec l'Etat-aménageur afin d'obtenir, eux aussi, un accès au goutte à goutte. Nous avons montré dans cet article comment l'initiative privée et l'action de l'Etat se croisent et se renforcent. Si ce sont les grands exploitants qui ont impulsé la diffusion du goutte à goutte conforme, ce sont les programmes étatiques qui ont conforté ce développement en attirant les investisseurs à travers les subventions. Nous avons aussi montré qu'en transformant le goutte à goutte, les acteurs locaux ont déconstruit cet objet de l'innovation, puis l'ont reconstruit en l'adaptant à différents contextes, multipliant les possibilités d'adoption par le plus grand nombre. Enfin, l'écriture de l'article m'a permis de problématiser ma thèse, et a suscité ma curiosité pour le développement du goutte à goutte en zone non-aménagée et d'irrigation privée.

Pourquoi le goutte à goutte comme sujet de thèse ?

J'ai montré dans ce qui précède comment le goutte à goutte a progressivement attiré mon attention et a suscité ma curiosité pour l'étudier et le choisir comme objet d'étude de ma thèse. J'ai fait ce choix pour une pluralité de raisons.

Premièrement, c'est un objet d'étude (A - *area of application*, cf. la fig. 2) qui s'impose par son importance dans les écoles de formation que j'ai fréquentées, mais aussi sur le terrain. En effet, le goutte à goutte connaissait un engouement important. J'avais réalisé

des travaux empiriques dans trois terrains au Maroc avant le début de la thèse : le Gharb, le Haouz et le Saïss. Dans les trois cas, le paysage était impressionnant. Sur le terrain, la technique d'irrigation au goutte à goutte occupait presque tout le paysage, sur de petites et de grandes parcelles et même sur les collines. Le goutte à goutte connaissait une diffusion importante auprès des grands et des petits agriculteurs. Par ailleurs, le cercle d'ingénieurs que je côtoyais accordait une importance particulière au goutte à goutte, que cela soit dans l'enseignement ou dans les services de l'Etat. J'avais l'impression que cette technique était « à la mode », mais qu'elle connaissait une diffusion et une utilisation souvent différentes de celle proposée dans la théorie et dans les textes officiels. Aussi cette technique, était portée dans la majorité des cas par des acteurs souvent inconnus et invisibles. D'où l'ambition de mener mon sujet de thèse sur la technique d'irrigation au goutte à goutte telle qu'on pouvait l'observer en interactions avec les acteurs sur le terrain. Il s'agissait de comprendre et de saisir tout cet engouement pour le goutte à goutte à travers l'observation des pratiques effectives des acteurs.

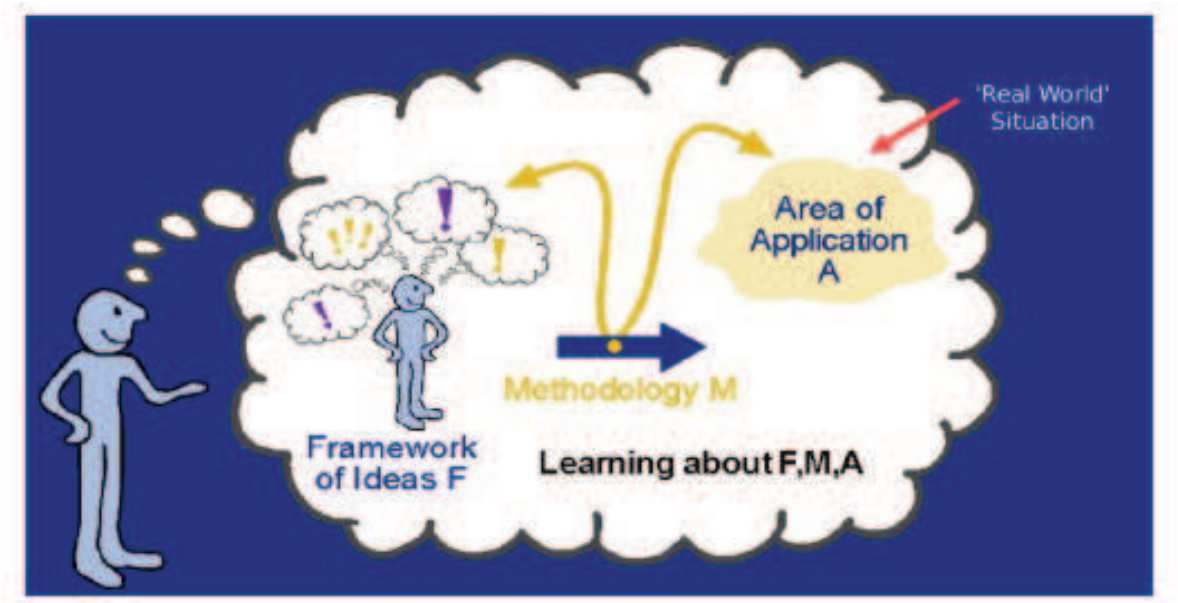

Figure 2. Un modèle heuristique de recherche en pratique (source : Blackmore et al., 2007 ; Checkland, 1999).

Deuxièmement, cette ambition m'a incité à faire des lectures pour construire mes cadres d'analyse comme présenté dans la figure 2 (F - *framework of ideas*). En effet, les premiers travaux documentés dans notre premier article (cf. chapitre 2), où j'avais examiné les conditions d'adoption du goutte à goutte sur les petites exploitations dans le Gharb (Maroc), montraient des processus complexes d'innovation, impliquant des adaptations locales par une pluralité d'acteurs. Le premier processus a été initié par des grandes exploitations ayant diffusé la technique aux petites exploitations, qui ont créé leur système d'innovation avec un matériel à bas coût et une installation mobile. Un deuxième processus dirigé par l'Etat attire les grandes exploitations. Les petites

exploitations préfèrent l'adoption informelle où la démarche est plus simple, plus souple avec des intermédiaires à proximité, et portant sur un équipement à bas coût avec une rentabilité immédiate. Ces petits agriculteurs s'approprient à leur manière des systèmes techniques, qui évoluent par rapport aux systèmes établis par les concepteurs. Cela m'a incité à regarder l'environnement sociotechnique du goutte à goutte afin de comprendre comment le goutte à goutte avait su enrôler cette pluralité d'acteurs (Akrich et al., 1988). Mes intuitions du début de la thèse d'un objet technique complexe en interaction avec un environnement sociotechnique se trouvaient ainsi confortées.

Troisièmement, j'ai souhaité instrumenté ma thèse en construisant une méthodologie de recherche (M – *methodology* ; cf. fig. 2), qui s'inspirait à la fois par les cadres d'analyses évoqués ci-haut, mais aussi par ma curiosité d'ingénieur hydraulicien de réaliser des mesures de performances pour les comparer avec la littérature dédiée à l'irrigation au goutte à goutte. J'avais en effet vu une telle disparité entre les systèmes présentés dans la littérature ou dans le discours des ingénieurs et les systèmes observés sur le terrain que cela m'a donné envie de mesurer et quantifier cette disparité.

Quatrièmement, comme présenté dans la figure 2, une fois en train de faire mes recherches, j'ai été confrontée à de nombreuses occasions à des résultats inattendus dans ce dialogue entre mes cadres d'analyse, la méthodologie et l'objet d'étude. Il s'agissait par exemple du constat d'une pluralité de systèmes de goutte à goutte qui constituait non seulement un étonnement par rapport à la littérature des sciences de l'eau dans son ambition de standardisation, mais renvoyaient aussi à différents réseaux sociotechniques impliqués dans le développement de ces différents systèmes goutte à goutte. Dans un premier temps, ceci m'a permis de revoir ma méthodologie de travail, de la confronter et de l'enrichir en fonction des réalités de terrain, mais aussi d'enrichir mon cadre théorique, car durant mon étude il y avait plusieurs allers retours entre le terrain et la littérature mobilisée. Cependant, dans un deuxième temps ceci m'a aussi confrontée à mon propre regard d'ingénieur en hydraulique agricole par rapport au goutte à goutte, me permettant d'instaurer une certaine réflexivité tout au long de ma thèse sur mes propres cadres d'analyse.

Suite à mes enquêtes et observations, j'ai alors décidé d'aborder mon sujet de thèse sur le goutte à goutte selon trois volets ; *le premier* concernait la *production du goutte à goutte*. Sur le terrain j'avais observé une multitude d'installations de goutte à goutte, contrairement aux ambitions de standardisation du monde des ingénieurs (Solomon et Dedrick, 1995). La majorité des agriculteurs rencontrés faisaient référence au « bricolage » quand ils décrivaient les adaptations réalisées sur les installations du goutte à goutte. Ce mot qui revient aussi dans les discussions sur le rôle et l'identité de l'ingénieur m'attirait vers ces adaptations. Ce mot m'a ensuite interpellé dans mes interactions avec des ingénieurs ou avec des étudiants en génie rural quand je donnais des cours car ce n'est pas un terme habituellement associé à des sujets d'ingénierie. C'est pour cela que la réflexion de Pascon (1980b) sur les deux faces de l'ingénieur (entre

bavure et bricolage) m'a toute de suite intéressé. Cette réflexion sur le rôle et l'action de l'ingénieur m'a davantage incitée à réfléchir sur ma propre action.

Le deuxième volet concernait l'*utilisation du goutte à goutte sur le terrain*. Face à une pluralité d'installations j'avais jugé utile de mesurer les performances d'irrigation afin d'avoir une idée sur les performances des installations rencontrés sur le terrain. En effet, la question qui revenait après chaque présentation de mon travail aux ingénieurs et chercheurs, essentiellement auprès des spécialistes de science de l'eau était : « Est-ce ces installations sont performantes ? ». J'ai donc réalisé des mesures de performance d'irrigation. J'avais comme objectif à l'époque de démontrer que les installations adaptées avaient de mauvaises performances d'irrigation comparées aux installations dites « conformes ». J'étais enthousiaste à l'idée de réaliser les mesures de performance d'irrigation à la parcelle. Effectivement, je les ai faits selon les règles de l'art, en mobilisant deux indicateurs de performances ; l'efficience d'irrigation et le coefficient d'uniformité afin d'avoir une idée sur les volumes apportées et la qualité des installations. Une fois les mesurées effectuées, j'avais entre les mains une diversité de performances d'irrigation que je pouvais classer en bonnes et mauvaises performances, selon les grilles d'évaluation classiques en sciences de l'eau (par exemple, Karmeli et Keller, 1974 ou Pénadille, 1998). Je les ai donc classés suivant ces normes théoriques, mais je trouvais que c'était insuffisant et ne reflétait pas la totalité de la réalité de terrain. Ces chiffres manquaient de « vivacité ». J'avais des chiffres qui représentaient des performances d'irrigation. Oui, et après ? Chaque chiffre était lié à un agriculteur, à une pratique et à une logique. Je trouvais que j'avais les moyens pour interpréter et aller encore plus loin dans la valorisation de ces données, ceci m'a amené à revoir mon cadre théorique et la méthodologie de travail (F,M, figure 2).

Mes observations, mes enquêtes et mes entretiens officiels et non officiels avec les agriculteurs, avec leurs familles et mon long séjour sur le terrain furent d'une aide précieuse pour comprendre et interpréter ces mesures. Sur le terrain, j'avais rencontré une diversité d'acteurs qui étaient impliqués dans le *processus de la diffusion du goutte à goutte*, *le troisième volet de ma thèse*. Méconnus et non cités dans les textes officiels, ni durant notre processus de formation d'ingénieur, je les rencontrais constamment sur le terrain, dynamiques et proches des agriculteurs. J'avais décidé dès ma deuxième année de thèse de m'intéresser à ces acteurs qui participaient et participent toujours à la diffusion du goutte à goutte en le rendant simple et accessible à tous les agriculteurs. Contrairement à mes attentes, au moment de mes enquêtes, l'installation, la vente du matériel d'irrigation, le conseil et même la fabrication de matériel d'irrigation au goutte à goutte étaient assurés par des acteurs locaux qui ne sont pas considérés dans le Programme National d'Economie d'Eau d'Irrigation. En réalisant mon travail de thèse, j'ai soulevé un défi méthodologique et mis la lumière sur un cadre théorique riche qui s'est construit à fur et à mesure en fonction de l'objet à étudier.

1.3. Les concepts théoriques qui m'ont inspirée tout au long de la thèse

Des lectures, la formulation de la question de départ et la formalisation du cadre d'analyse

Durant ma thèse, j'ai eu l'occasion de découvrir et mobiliser et des théories riches à la fois en sciences de l'eau et sciences de l'innovation. Ceci m'a permis d'aborder mon sujet de thèse d'une manière plus complexe et plus complète. Ce fut une aventure scientifique durant laquelle il y avait toujours un aller-retour entre la littérature et le terrain. En effet, dès mes premières lectures sur le rural marocain et l'innovation technique, j'avais commencé mes premières sorties d'investigation et de visite de terrain d'étude.

Sur le terrain, la première chose qui m'a interpellée fut la pluralité des systèmes de goutte à goutte avec une multitude d'adaptations locales, parfois différentes du système d'irrigation conventionnel proposé dans les écoles d'ingénieur, et réalisées par des acteurs locaux souvent informels. En effet, les agriculteurs adaptaient et adoptaient la technologie en fonction de leurs intérêts et contraintes. Je me suis alors intéressée aux liens entre l'acteur et la technique, en mobilisant la théorie de acteur-réseau, le concept de réseau sociotechnique en me basant essentiellement sur les références d'Akrich et de Callon, en particulier leur théorie sur l'intéressement (Akrich et al., 1988) ; et ceci en lien avec des travaux de recherche en cours dans le Gharb (Poncet, 2010) sur les intermédiaires de l'innovation facilitant l'installation du goutte-à-goutte à bas coût par de petits exploitants. Nous avons défini un intermédiaire de l'innovation comme une personne ou institution qui facilite un processus d'innovation en fournissant des informations, des connaissances, des conseils, du financement, ou en agissant comme un médiateur (Howells, 2006 ; Poncet et al., 2010). Les petits exploitants font peu appel aux intermédiaires officiels (services de l'Etat, sociétés agréées), car ils leurs préfèrent des intermédiaires informels tels que les ouvriers des grandes exploitations, des voisins, ou de petits bureaux d'études locaux.

J'ai alors élargi mon champs d'étude à l'utilisation de la technique du goutte à goutte certes mais aussi à son environnement, et non pas juste à la technique en elle-même. Premier intérêt pour la littérature de l'innovation. Dans mon travail de thèse je considère la technique d'irrigation au goutte à goutte comme une innovation technique. Selon Schumpeter (1911), une innovation est une « invention qui a réussi ou qui a rencontré des utilisateurs ». Le goutte à goutte est lié d'une manière très étroite et forte à ses utilisateurs. L'environnement d'accueil de la technique est très important pour le développement du goutte à goutte. Flichy (2003) parle de terrain d'accueil de l'innovation, car les propriétés des terrains d'accueil aideront à l'adoption d'une nouveauté et par conséquent sa transformation en innovation. Le goutte à goutte regroupe un monde d'utilisateurs et d'intermédiaires d'innovation qui ont fait sa gloire, cette gloire qui se résume essentiellement dans la diffusion de cette technique : *« Le succès ou (l'échec) d'une innovation ne vient donc pas de la qualité ou de la justesse d'un dispositif technique, de la capacité de l'innovation à répondre à une demande sociale »*

(Flichy, 2003). Akrich et al. (1988) parle de l'intéressement : *« Adopter une innovation, c'est l'adapter : telle est la formule qui rend mieux compte de la diffusion. Et cette adaptation résulte en général d'une collaboration collective, fruit d'un intéressement de plus en plus large »* (Akrich et al., 1988). La théorie d'Akrich met l'accent sur l'étude de l'innovation en train de se faire en reconstruisant les perspectives et les projets de tous les acteurs impliqués dans un processus d'innovation. Ils réfèrent à ces acteurs comme des « alliés » où l'innovation est « *l'art d'intéresser un nombre croissant d'alliés* ». L'innovation s'intègre « *dans un réseau d'acteurs qui la reprennent, la soutiennent, la déplacent* ». Ce modèle de l'« intéressement » expliquant le succès d'une innovation attire ainsi l'attention sur « les points d'accrochage entre l'objet et les intérêts plus ou moins organisés qu'il suscite » (ibid). Les réseaux sociotechniques sont des systèmes composites, combinant les humains et non-humains (actants) et même des concepts, ainsi que des systèmes hybrides qui se rapportent à la fois à la conception, l'utilisation et la diffusion de l'innovation (Callon, 2006).

Ces lectures initiales ont été utilement complétées par une analyse inspirée de la littérature récente sur les systèmes d'innovation (Geels, 2004 ; Edquist, 2005 ; Sumberg, 2005 ; Spielman et al., 2009 ; Klerkx et Leeuwis, 2008). Cette littérature place l'objet technique au cœur des changements en cours dans les processus d'innovation à l'échelle mondiale. Nous avons mobilisé dès les premières phases de notre travail le concept de « système d'innovation », défini ici comme l'ensemble des facteurs économiques, sociaux, politiques, organisationnels, institutionnels et autres, qui influencent le développement, la diffusion et l'utilisation d'une innovation (Edquist, 2005). Comprendre l'innovation, c'est s'intéresser à son utilisation et à son fonctionnement (Geels, 2004) : « *The focus is not just on innovations, but also on use and functionality* ». Geels (2004) propose ainsi de s'intéresser aux systèmes sociotechniques qui englobent la production, la diffusion et l'utilisation des technologies. La littérature récente sur l'innovation (e.g. Leeuwis et van den Ban, 2004) considère l'innovation technique comme un processus multidimensionnel, où la production, la diffusion, et l'utilisation de l'innovation sont faits en réseaux et de façon distribuée.

Une fois replacé le goutte à goutte au centre d'un système d'innovation dynamique et évolutif, en interaction avec des acteurs intéressés par sa production, son utilisation et sa diffusion, il était temps de revenir sur mes lectures initiales portant sur le rural marocain. Une lecture attentive de la relation entre l'ingénieur et le paysan analysée par l'école de sociologie rurale de l'IAV (par exemple, Bouderbala et al. 1984 ; Pascon, 1986) a précisé mes analyses des rôles des acteurs locaux dans un processus d'innovation technique qui semble *a priori* dominé par l'ingénieur d'état. Le développement de l'irrigation au Maroc, ainsi que l'innovation, a été pendant longtemps un domaine où l'Etat était fortement présent, en particulier à travers l'aménagement et la gestion des périmètres de la grande hydraulique (Kuper et al., 2009). Cependant, des travaux au Maroc et ailleurs montrent des « *dynamiques moins visibles et en partie en dehors des cadres de l'Etat, mais bien réelles* » portées par les acteurs locaux (Kuper, 2011).

Qualifiées souvent de « bricolages », ces dynamiques informelles sont alors « *un objet de recherche passionnant* » si l'on veut porter un regard original sur l'irrigation (*ibid*).

Enfin, j'ai voulu reprendre des lectures qui me ramenaient aux fondements de ma formation initiale d'ingénieur en hydraulique agricole afin de mieux mettre en lumière l'objet technique complexe qu'est le goutte à goutte. Il s'agissait dans un premier temps de comprendre les avancées technologiques à travers la littérature récente, mais je me suis rapidement focalisé sur la question des performances d'irrigation. Le débat sur les performances d'irrigation, et en particulier l'efficience d'irrigation, remonte aux auteurs classiques du début du 20ème siècle (par exemple, Wilson, 1912 ; Israelsen, 1932), et a fait régulièrement l'objet de discussion pour en préciser les termes et les échelles (par ex., Bos et Nugteren, 1974 ; Burt et al., 1997 ; Bouaziz et Belabbes, 2002) ou pour remettre en cause le concept (e.g. Keller et al., 1996 ; van Halsema et Vincent, 2012). Dans l'équipe de recherche où j'ai fait ma thèse, nous avons engagé une réflexion sur les efficiences d'irrigation particulière au goutte à goutte (Van der Kooij et al., 2013). En effet, en théorie la technique d'irrigation au goutte à goutte est considérée comme la technique la plus efficiente comparée aux autres techniques d'irrigation, avec une efficience qui peut atteindre les 90%. Ces efficiences très élevées annoncées sont à la base de grands programmes de développement et de subvention publique, et sont rarement contestées dans la littérature. Seules quelques études ponctuelles, basées sur des mesures de terrain tempèrent cet optimisme affiché (e.g. Wolf et al., 1995 ; Slatni et al., 2005). La lecture de cette littérature couplée à l'analyse de la diversité des systèmes d'irrigation au goutte à goutte rencontrées sur le terrain, m'a incitée dans un premier temps à développer une méthode pour mesurer les performances d'irrigation et à vérifier cette efficience souvent mise en avant pour promouvoir le goutte à goutte. Dans un deuxième temps, je me suis rendue compte rapidement que les performances d'irrigation ne dépendaient pas uniquement de la technique mais dépendaient aussi des pratiques et logiques des utilisateurs du goutte à goutte. Par la suite, j'ai développé un intérêt particulier pour expliquer et interpréter ces performances techniques par les interactions entre les acteurs et la technique. Il y a eu donc un retour aux références classiques des sciences de l'eau comme Karmeli et Keller (1974) et Burt et al. (1997). Mais en même temps, nous avons mobilisé les sciences de l'innovation pour interpréter ces performances techniques par les interactions entre les acteurs et la technique.

En nous inspirant de nos lectures croisées de la littérature sur les systèmes d'innovation et les sciences de l'eau, et de notre problématisation dans notre premier article (cf. chapitre 2) nous avons décidé d'aborder notre sujet de thèse par trois pôles d'analyses (Fig. 3), la production, l'utilisation et la diffusion de l'innovation technique. Notre question de départ était formulée comme suite **:** ***Dans quelles conditions s'opèrent le développement, la diffusion, et l'utilisation de l'innovation technique du goutte à goutte dans un territoire irrigué ?***

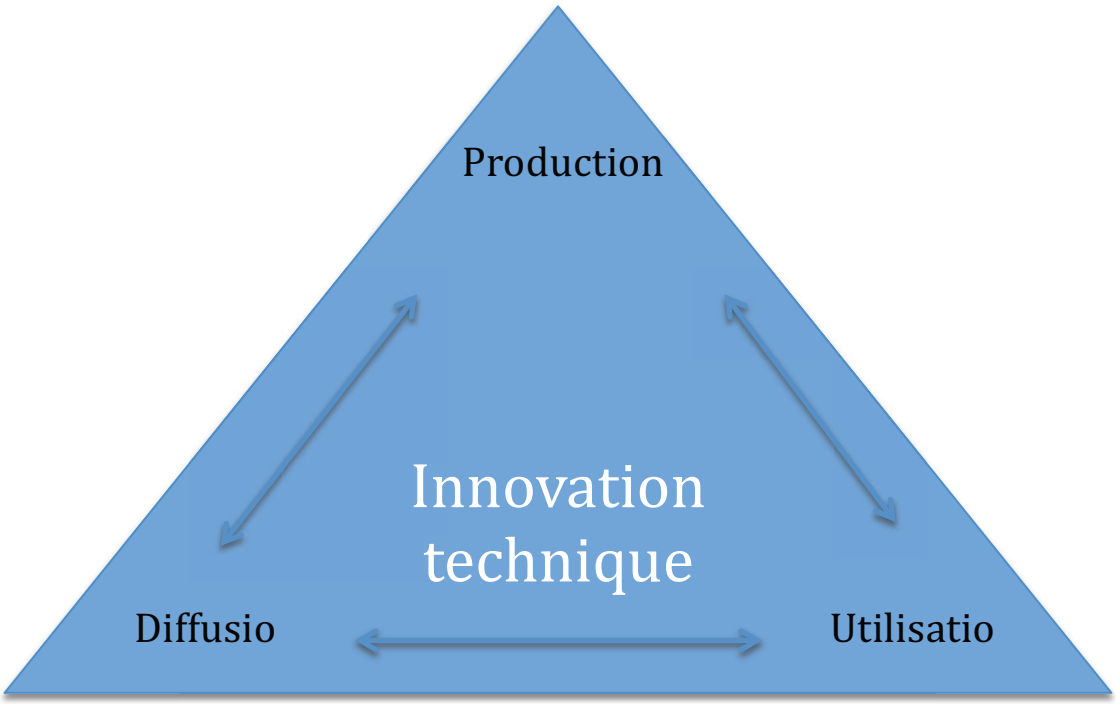

Figure 3. Cadre d'analyse de la thèse

Nous avons choisi de cerner notre travail de thèse à partir de trois entrées, questions et hypothèses de recherche (Fig. 3) :

i. **Production** du goutte à goutte: Quelles adaptations ? Dans cette partie, nous nous intéressons aux adaptations locales apportées au système technique d'irrigation au goutte à goutte. Ces adaptations sont souvent qualifiées de « Bricolage ». Notre hypothèse est qu'à travers le bricolage, les agriculteurs ont adapté et modifié le goutte à goutte aux situations locales, et rentrent dans un processus progressif d'apprentissage de ce que l'irrigation goutte à goutte est et ce qu'elle peut faire. Selon une telle hypothèse, les acteurs locaux partagent ainsi la mise en œuvre du processus de conception de la technique avec les ingénieurs.

ii. **Utilisation** du goutte à goutte : Quelles performances ? Ce volet est dédié à l'utilisation du goutte à goutte à travers l'étude des performances d'irrigation du goutte à goutte. Nous postulons que ces performances ne dépendent pas uniquement des caractéristiques techniques du goutte à goutte, mais aussi de son environnement social. Les performances d'irrigation dépendent alors des pratiques et logiques des utilisateurs.

iii. **Diffusion** du goutte à goutte: Quels acteurs ? Cette partie porte sur l'ensemble des acteurs impliqués dans la production, l'utilisation et la diffusion du goutte à goutte. Notre hypothèse est que le goutte à goutte a enrôlé ces acteurs dans un réseau sociotechnique en leur permettant d'évoluer sur le plan socioprofessionnel. En retour, ces acteurs seraient devenus des alliés dans la

diffusion du goutte à goutte, ce qui pourrait expliquer la diffusion rapide de cette technique d'irrigation à un grand nombre d'acteurs.

Sur la base de ces interrogations, et en rencontrant les acteurs pratiquant le goutte à goutte tout en observant les pratiques du goutte à goutte, nous avons souhaité focalisé notre réflexion sur les interactions entre l'innovation technique et les acteurs responsables de sa production, son utilisation et sa diffusion. Nous avons alors reformulé notre question de recherche comme suite : Comment la pratique de l'innovation technique qu'est le goutte à goutte a changé à la fois la technologie et les trajectoires socioprofessionnelles des acteurs impliqués, et quel est l'impact sur les efficiences d'irrigation ? Cela nous a amené à analyser par quels processus le goutte à goutte a enrôlé une diversité d'acteurs pour la production, utilisation et diffusion de cette innovation technique, et quels sont les changements réciproques opérés dans ce processus sur ces acteurs et la technologie. Dans notre dialogue entre sciences de l'innovation et sciences de l'eau, nous avons souhaité réinterroger la notion de l'efficience d'irrigation forte de nos connaissances des interactions entre la technologie et les acteurs.

Un dialogue entre le travail empirique et la littérature

Durant notre travail de thèse, nous avons effectué plusieurs allers retours entre le travail empirique et la littérature. Les lectures initiales décrites précédemment ont donc été continuées afin d'aiguiser mon regard sur les réalités de terrain que j'observais. Dans ce qui suit, nous décrivons en plus de détail ces allers retours pour les trois volets de notre thèse.

i. **Production de l'innovation** (cf. chapitre 3)

Sur le terrain, les agriculteurs, les gérants d'exploitations et les installeurs locaux employaient souvent le terme « bricolage » pour se référer aux adaptations et du processus à travers lequel ils ont appris à manipuler et utiliser la technique d'irrigation au goutte à goutte. Ces agriculteurs utilisent souvent le terme fièrement, le reconnaissant comme une partie importante de leur identité et de leur vie quotidienne. Les différentes lectures dédiées au rural Marocain, ont attiré notre attention sur l'importance du *bricolage* sur le terrain. En effet, en empruntant le concept de Lévi-Strauss, Pascon (1980b) dans ses travaux sur le rural Marocain définit le *bricolage* comme : « *faire du nouveau avec des bouts d'ancien* », mais associe le concept – et c'est cela l'originalité – à l'action du technicien. Pascon (1980b) appelle technicien tous ceux (ingénieurs, économistes, sociologues…) qui « *convaincus de disposer d'une méthode déclarée spécifique et rationnelle font métier de l'utiliser pour transformer la nature inerte, biologique ou humaine* ». Dans la dialectique de Pascon, une fois confronté à la réalité du terrain, l'ingénieur dispose de deux options. Soit il adapte son modèle « idéal », appris sur les bancs de l'école, aux réalités de terrain, et s'engage dans un processus qui peut être qualifié de « bricolage », soit il continue à s'en tenir à des procédures et des normes de conception officielles. Quand le choix est porté sur la

première option - faire avec ce qui est disponible localement pour aboutir à la conception de systèmes qui fonctionnent- les ingénieurs et leurs conceptions peuvent être bien reçus par les utilisateurs finaux, mais souvent ces conceptions sont mal vues par les pairs, c'est-à-dire la communauté des ingénieurs. La deuxième option aura l'effet inverse: il sera créé des systèmes sophistiqués qui ne fonctionnent pas (des « bavures »), mais imposent le respect parmi les pairs. Car l'ingénieur aura alors mobilisé des normes relevant de la langue commune à tous les ingénieurs, ce qui fait leur fierté et leur identité. D'ailleurs la normalisation reflète la culture des ingénieurs, leur permettant de distinguer entre une « bonne » et « mauvaise » technologie, une distinction qui sert simultanément à protéger leur expertise.

A travers le bricolage, différentes catégories d'acteurs se sont appropriées la technologie et co-pilotent la nature et l'orientation des changements nécessaires (Alter, 2002). Nous postulons que le bricolage peut être considéré comme un renversement des rôles : les agriculteurs co-pilotent le processus de production avec les ingénieurs. A travers notre étude, nous considérons le bricolage comme un processus créatif d'apprentissage et d'adaptation, c'est un processus qui change le contexte des utilisateurs et la technologie « goutte à goutte » elle-même (et sa signification). Chemin faisant, nous avons constaté que le terme de bricolage a été aussi mobilisé dans le domaine de l'innovation technique. Garud et Karnøe (2003), par exemple, l'ont mobilisé dans une étude sur le l'innovation technique des éoliennes au Danemark et aux États-Unis. Ils montrent comment une approche incrémentale de l'innovation qu'ils qualifient de bricolage - commencer avec un design low-tech, mais accroitre progressivement - est en mesure de l'emporter sur une approche high-tech révolutionnaire, basée sur des percées scientifiques. Cette littérature nous a permis de confronter notre étude de cas à des réflexions portant sur d'autres objets techniques dans d'autres contextes.

La notion de *bricolage* semble s'opposer d'emblée aux ambitions de standardisation portées par la communauté d'ingénieurs (Dedrick, 1986; Solomon et Dedrick, 1995). Cependant, en regardant de plus près, on peut constater un regard plus complexe de cette communauté sur la normalisation. Une des grandes références sur l'irrigation localisée - le manuel de la FAO publié en 1983 - affirmait par exemple que la diversité des équipements était si grande, et les modèles changeaient si rapidement qu'il était impossible de les énumérer et de les décrire, et donc encore moins les standardiser (Vermeiren et Jobling, 1983). La communauté d'ingénieurs a néanmoins fait de nombreux efforts de standardisation (Laiti et al., 2005). Par exemple, le document de normes marocaines, élaboré par le comité technique de normalisation des machines, instruments et matériels à usage agricole, et édité et diffusé par le service de normalisation industrielle marocaine (SNIMA), a été publié au bulletin officiel n° 5514 du 5/4/2007 au moment du lancement du Programme National d'Economie d'Eau en Irrigation. Le document de cadrage général présente les critères de sélection des équipements et matériels d'irrigation localisée. Les références utilisées sont les normes ISO (9260 pour les goutteurs, 9912-2 pour les filtres), et les travaux du « European

Committee for Standardization ». Ce document de cadrage présente aussi les exigences pour l'étude technique de conception de l'installation. Cependant, une lecture attentive du document permet de nuancer une première impression d'une standardisation ne tenant pas compte des spécificités locales. En effet, les auteurs précisent que l'objectif du document n'est pas de « *fixer tous les aspects concernant le choix de ces matériels, mais seulement de donner un aperçu des méthodes qui permettent de sélectionner en toute impartialité les matériels les mieux adaptés à un usage déterminé* ». La portée du document est donc avant tout méthodologique pour mettre en perspective une amélioration constante de la dimension technique dans le cadre des procédures de subvention du matériel d'irrigation.

Les composantes, importées ou fabriquées au Maroc, sont vérifiées quant à leur adéquation avec les normes marocaines (tests selon la norme ISO 9260), en particulier les filtres et les gaines. Les résultats des tests de conformité sont obligatoires pour la demande de subvention. Les autres composantes font référence aux normes présentées dans les documents de la FAO. Un grand intérêt est porté à la qualité des composantes, et la qualité de l'installation. Ce document a inspiré la rédaction de procédures de subvention, mais les normes officielles ne sont pas connues dans leur totalité et ne sont pas mobilisées par les entrepreneurs sur le terrain. En revanche, les acteurs locaux – agriculteurs, ouvriers, artisans - se sont rapidement adaptés aux procédures de subvention et les normes contenues dans ces procédures. Ces acteurs avaient déjà perçu les normes internationales (qui ont inspirées les normes marocaines) à travers les équipements importés qu'ils utilisaient au quotidien. Les procédures de subvention ont introduit d'autres normes locales plus surprenantes, par exemple la couleur rouge des filtres à sable ou encore les vannes « oranges », en référence aux composantes d'origine étrangère et fortement appréciée par les acteurs locaux, se sont « imposées » sur le marché. Les artisans locaux se sont mis à fabriquer certaines composantes avec une bonne finition pour qu'ils soient semblables aux composantes importées par les sociétés. Par la suite, les fabrications locales se sont imposées comme la norme, et ont pu intégrer les procédures officielles. En effet, les procédures de subvention sont restées très ouvertes par une mise à jour régulière qui prend en considération les changements et de l'évolution du matériel disponible sur le marché. A travers le bricolage, les normes locales sont modifiées et adaptées. Cependant, ces installations sont le fruit de l'expertise locale, combinent des composantes fabriquées localement (non-ISO) et des composantes importées ou fabriquées dans le secteur formel, et disposant du label ISO. C'est ce processus de *bricolage* complexe que nous avons voulu étudier dans cette partie.

ii. **Utilisation de l'innovation** (cf. chapitre 4)

Le goutte à goutte étant souvent promu pour ses capacités d'améliorer de l'efficience d'irrigation et la distribution de l'eau à l'intérieur de la parcelle, il n'est pas étonnant que dans la littérature l'utilisation du goutte à goutte est souvent analysée à travers des évaluations de la performance d'irrigation. Au cours des dernières années, la communauté scientifique des sciences de l'irrigation ont fourni des efforts importants

pour clarifier la notion de performance d'irrigation et définir les indicateurs appropriés (Bouaziz et Belabbes, 2002 ; Burt et al. 1997 ; Jensen, 2007). Ces indicateurs sont utiles pour distinguer et détecter les problèmes affectant le matériel d'irrigation comme le coefficient d'uniformité (CU) et les pratiques d'irrigation (calendrier, doses d'irrigation) par l'efficience d'irrigation (IE). Ces indicateurs sont relativement faciles à appliquer et pertinents, même bien qu'ils nécessitent des efforts considérables pour les recueillir et les collecter, notamment les données de terrain concernant les applications d'irrigation. Cela explique peut-être que ces indicateurs de performances sont généralement mesurés et appliqués sur des parcelles expérimentales où tous les paramètres sont définis et contrôlés (Camp et al. 1997; van der Kooij et al. 2013). Cependant, la performance d'irrigation en conditions réelles dépend non seulement des normes techniques des équipements d'irrigation, mais aussi des pratiques d'irrigation et de maintenance (Tanji and Keyes 2002; Luquet et al. 2005). Les indicateurs de performances proposés dans la littérature permettent de saisir la diversité des performances d'irrigations observées sur le terrain, mais sont insuffisants pour en expliquer les raisons. En effet, face une diversité de performances d'irrigation, ces références aident essentiellement à classer ces performances - « *bonne »* ou « *mauvaise* » - avec une vocation d'universalité sans tenir compte des utilisateurs et du milieu où la technologie est utilisée. Notre thèse postule que la performance du goutte à goutte dépend de son environnement et de ses utilisateurs, car c'est à eux que revient le dernier mot concernant l'utilisation du goutte à goutte. Par conséquent, l'utilisation du goutte à goutte peut être analysée certes à travers les indicateurs de performances d'irrigation que nous mobiliserons à partir de la littérature, mais aussi dans son environnement social. Leeuwis et van den Ban (2004) ont proposé un modèle afin de comprendre et de saisir la nature sociale et la logique sous-jacente des pratiques agricoles (techniques) des utilisateurs. Cette logique est déterminée par des variables (socio-économiques, techniques) liées aux conséquences perçues de l'évolution des pratiques et de leur évaluation par les agriculteurs individuellement.

La notion d'efficiences d'irrigation a été souvent abordée dans la littérature, et s'est progressivement complexifié, en passant d'une efficience à la parcelle vers une efficience « néoclassique » à l'échelle du bassin versant (Keller et al., 1996). En même temps, nous constatons un abandon des sciences de l'eau en ce qui concerne les mesures réalisées *in situ,* au profit d'une focalisation sur des parcelles en station expérimentale, ce qui a contribué à notre avis à la construction du mythe du goutte à goutte efficient. Le postulat de cette thèse est qu'il faut mesurer ces performances en conditions réelles et vérifier l'adéquation entre mythe et réalités. Pour ce faire, nous sommes revenus sur les « classiques » de la littérature en irrigation (Karmeli et Keller, 1974 ; Burt et al., 1997 ; Pereira, 2012) pour remobiliser leurs avancées sur la définition de la performance d'irrigation et sur l'élaboration des indicateurs permanents. Nous sommes allés plus loin en ambitionnant de comprendre la construction de ces performances sur le terrain, en faisant le lien avec les pratiques et logiques des utilisateurs, en mobilisant les cadres théoriques de la littérature sur l'innovation. Notre ambition était de rendre ainsi visible

l'utilisateur du goutte à goutte, l'agriculteur, absent de façon flagrante de toute cette littérature.

iii. **Diffusion de l'innovation** (cf. chapitre 5)

Les recherches récentes sur les systèmes d'innovation ont changé la perspective analytique de l'innovation vers une approche plus complexe, basée sur une approche « système » (Spielman et al., 2009). Le concept de systèmes d'innovation a été utile pour comprendre comment interagissent de multiples acteurs dans l'échange des informations et des connaissances pour développer, diffuser et utiliser les innovations (Edquist 2005; Ortiz et al 2013.). Dans cette littérature, une attention particulière a été donnée aux nouveaux acteurs impliqués dans ces processus d'innovation, notamment à partir de l'article de Howell (2006). Poncet et al. (2010) montrent l'importance du rôle des acteurs locaux (et actants), souvent non-conventionnels, dans la circulation des informations, connaissances et savoir-faire. Ces acteurs émergent de plus en plus dans un contexte de retrait relatif de l'état et de privatisation des fonctions de conseil agricole (Klerkx et Leeuwis, 2008). Pour étudier le rôle de ces acteurs, et plus particulièrement leur enrôlement dans la « communauté » de goutte à goutte, leur intérêt dans le goutte à goutte, et leurs contributions à la production, l'utilisation et la diffusion de l'innovation, nous avons été inspirés par les travaux d'Akrich, Callon et Latour (Akrich et al., 1988 ; Akrich, 1989 ; Akrich, 1998 ; Callon, 1986 ; Callon, 2006), et notamment par leur analyse de l'innovation en train de se faire à travers le modèle de l'intéressement. Cela nous a permis de reconstruire les perspectives et les projets de tous les acteurs impliqués dans ces processus d'innovation. Nous avions ainsi l'ambition de faire le lien – à travers le concept de réseau sociotechnique –entre les acteurs de la production, de l'utilisation et de la diffusion de l'innovation, dans une vision systémique de l'innovation. D'après Akrich (1988), l'innovation doit s'intégrer dans un réseau d'acteurs qui la reprennent, la soutiennent, la déplacent. Le modèle de l'intéressement souligne l'existence de tout un faisceau de liens qui unissent l'objet à tous ceux qui le manipulent. Le modèle de la diffusion déplace l'objet technique à l'intérieur d'une société qui constitue un milieu plus ou moins récepteur. Le modèle de l'intéressement met en scène tous les acteurs qui se saisissent de l'objet ou s'en détournent et il souligne les points d'accrochage entre l'objet et les intérêts plus ou moins organisés qu'il suscite.

La structure de la thèse

Dans ce qui suit, nous allons dans le chapitre 2 présenter la problématisation de la thèse, contenue dans un article que nous avons publié en 2011 dans la revue *Cahiers Agricultures*. Dans cet article, nous faisons connaissance avec le cadre de l'étude de cas (la production, l'utilisation et la diffusion du goutte à goutte au Maroc), que nous avons confronté à nos premières lectures sur les systèmes d'innovation. Dans les chapitres 3, 4 et 5, nous présentons successivement les résultats de nos analyses sur la production, l'utilisation et la diffusion de l'innovation technique. Le chapitre 3 (production de

l'innovation) porte sur les adaptations de la technologie par une diversité d'acteurs locaux à travers des processus qu'ils qualifient eux-mêmes de bricolage, co-pilotant le processus de conception technique avec les ingénieurs. Cette réflexion a été documentée dans un article à destination de la communauté d'ingénieurs dans la revue *Irrigation and Drainage* parrainé par la Commission Internationale des Irrigations et du Drainage. Le chapitre 4 (utilisation de l'innovation) focalise sur la mise en visibilité de l'agriculteur, utilisateur de la technologie, mais notoirement absent de la littérature sur l'irrigation localisée et remplacée par des mirages d'efficience théorique. Nous avons documenté cette réflexion dans un article publié dans la revue *Irrigation Science*, qui est la revue de référence dans le domaine des sciences de l'irrigation. Le chapitre 5 (diffusion de l'innovation) se concentre sur l'ensemble des acteurs locaux, souvent non-conventionnels, enrôlés par le goutte à goutte et à la base - à notre avis - de la diffusion rapide du goutte à goutte. Nous avons publié cette réflexion dans la revue *Journal of Agricultural Education and Extension* permettant d'engager le débat avec un public intéressé par des questions de développement rural et d'innovation technique. Enfin, nous allons conclure notre thèse par une conclusion générale ouvrant sur les implications de notre recherche et les perspectives.

Références

Ababou, R. (1979). Les inconnues de l'irrigation au « goutte à goutte ». *Hommes Terre et Eaux*, (9), 3-41. [http://www.anafide.org/doc/HTE%2032/32-1.pdf]

Akesbi, N. (2012). Une nouvelle stratégie pour l'agriculture marocaine: le Plan Maroc Vert. *New Medit*, 11(2), 12-23.

Akrich, M. (1989). La construction d'un système socio-technique. *Anthropologie et sociétés*, 13(2), 31-54.

Akrich, M. (1998). Les utilisateurs, acteurs de l'innovation. *Education permanente*, (134), 79-90.

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,* (11, 12).

Alter, N. (2002). Les logiques de l'innovation. approche pluridisciplinaire. La découverte : Paris ; 274pp.

Belghiti, M. (2009). Le plan national d'économie d'eau en irrigation (PNEEI) : une réponse au défi de la raréfaction des ressources en eau. *Hommes Terre et Eaux,* (143/144),34-36. [http://www.anafide.org/doc/HTE%20143/143-5.pdf]

Benouniche, M. (2008). Étude de la reconversion collective de secteurs irrigués dans le perimeter du Gharb: logiques d'acteurs et choix techniques. Master en irrigation et maîtrise de l'eau CRESA. Rabat, Maroc.

Benouniche M., Errahj M., & Kuper M. (2014). The seductive power of an innovation: enrolling non-conventional actors in a drip irrigation community in Marocco. *The Journal of Agricultural Education and Extension*. DOI: 10.1080/1389224X.2014.977307.

Benouniche, M., Kuper, M., Poncet, J., Hartani, T., & Hammani, A. (2011). Quand les petites exploitations adoptent le goutte-à-goutte: initiatives locales et programmes étatiques dans le Gharb (Maroc). *Cahiers Agricultures* ,20, 40–47.

Berriane, M. (2002). Le maillon intérieur: la région de Fes-Meknes. Maroc, régions, pays, territoires. Maisonneuve & Larosse, Paris, 133-154

Blackmore, C., Ison, R., & Jiggins, J. (2007). Social learning: an alternative policy instrument for managing in the context of Europe's water. E*nvironmental Science & Policy* ,10(6), 493-498.

Bos, M.G., Nugteren, J. (1974). *On irrigation efficiencies*. Wageningen: International Institute for Land Reclamation and Improvement,19.

Bouaziz, A., Belabbes, K. (2002). Efficience productive de l'eau en irrigué au Maroc. *Hommes Terre et Eaux*, *32*(124), 57-72. [http://www.anafide.org/doc/HTE%20124/124-11.pdf]

Bouderbala, N., Chiche, J., Herzenni, A., & Pascon, P. (1984). La question hydraulique, petite et moyenne hydraulique au Maroc. Rabat (Maroc) : Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.

Boularbah, S. (2014). Retour d'expériences des projets de reconversion individuelle et collective dans les secteurs N1, N5 et N9 dans le périmètre irrigué du Gharb. Mémoire 3ème cycle de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.

Bourzac, K. (2013). Water: The flow of technology. *Nature*, *501*(7468). DOI:10.1038/501S4a

Bourotte, M. (1928). La Terre Marocaine. (2), 35-36.

Brouwer, C., Prins, K., Kay, M., & Heibloem, M. (1990). Méthodes d'irrigation. *Gestion des Eaux en Irrigation. Manuel de Formation*. Manuel de la FAO.

Bulletin officiel n°5514. Norme Marocaine homologué (2007). Élaborée par le comité technique de normalisation des machines, instruments et matériels à usage agricole. Éditée et diffusée par le Service de Normalisation Industrielle Marocaine (SNIMA).

Burt, C.M., Clemmens, A.J., Strelkoff, T.S., Solomon, K.H., Bliesner, R.D., Hardy, L.A., Howell, T.A., & Eisenhauer, D.E. (1997). Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. Journal of irrigation and drainage engineering, 123(6), 423-442.

Callon, M. (2006). Sociologie de l'acteur réseau. In Akrich, M., Callon, M., & Latour, B. (2006). Sociologie de la traduction: textes fondateurs. Les presses, Mines. Paris,pp 267-276.

Callon, M., Lascoumes, P., & Barthe, Y.(2001). Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique, Paris, Ed du seuil.

Callon, M. (1986). Some elements of a sociology of translation: domestication of the scallops and the fishermen of St Brieuc Bay. In Power, action and belief: a new sociology of knowledge? (eds) J. Law, 196-223. London: Routledge.

Camp, C.R., Sadler E.J., & Busscher, W.J. (1997). A comparison of uniformity measures for drip irrigation systems. Am Soc of Agric Eng 40(4): 1013-1020

Checkland, P.B., (1999). Soft Systems Methodology. A 30-year retrospective. In: Checkland, P.B., Scholes, J. (Eds.), Soft Systems Methodology in Action. second ed. John Wiley, Chichester, pp. 1–66.

Dedrick, A.R. (1986). International standards for irrigation and drainage equipment—why develop them. ASAE Paper (86), presented at the 1986 Winter Meeting, Chicago, Ill., pp 8.

Edquist, C. (2005). "Systems of innovation". In The Oxford handbook of innovation, edited by J. Fagerberg, D. C. Mowery, R. R. Nelson, 181-208. New York: Oxford University Press.

El Gueddari, A. (2004).Economie d'eau en irrigation au Maroc: Acquis et perspectives d'avenir. Hommes Terre et Eaux 130,4-7. [http://www.anafide.org/doc/HTE%20130/ElGaddari(HTE130)2.pdf]

El Gueddari, A. (2001). L'irrigation au Maroc. Homme Terre et Eau, 31(120), 21-26. [http://www.anafide.org/doc/HTE%20120/120-5.pdf]

Flichy, P. (2003). L'innovation technique: récents développements en sciences sociales, vers une nouvelle théorie de l'innovation. París: La découverte.

Garud R, Karnøe P. (2003). Bricolage versus breakthrough: distributed and embedded agency in technology entrepreneurship. Research Policy 32, 277–300.

Geels, F. W. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. Research policy, 33(6), 897-920.

Hansona, B.R., Schwankl, L.J., Schulbach, K.F., & Pettygrove, G.S. (1997). A comparison of furrow, surface drip, and subsurface drip irrigation on lettuce yield and applied water. *Agricultural Water Management*, 33(2), 139-157.

Howell, J. (2006). Intermediation and the role of intermediaries in innovation. Research Policy 35(5), 715–728.

Israelsen, O.W. (1932). Irrigation Principles and Practices. (eds) John Wiley and Sons, New York. 418 p.

Jensen, M.E. (2007). Beyond irrigation efficiency. *Irrigation Science*, *25*(3), 233-245.

Kadiri, Z. (2012). L'action publique à l'épreuve de la participation: Généalogie du projet d'irrigation du Moyen Sebou au Maroc. Thèse doctorale, Université de Provence, France, 328p.

Karmeli D, Keller J (1974) Evaluation of a trickle irrigation system. Proceedings of the 2nd International Drip/Trickle Irrigation Congress. California, USA. Riverside Printers:287-292

Keller, A.A., Keller, J., & Seckler, D.W. (1996). Integrated water resource systems: Theory and policy implications. *IWMI*, 3.

Klerkx, L., Leeuwis, C. (2008). Matching demand and supply in the agricultural knowledge infrastructure: experiences with innovation intermediaries. *Food Policy* 33 (3), 260–276.

Kuper, M., Errahj, M., Faysse, N., Caron, P., Djebbara, M., & Kemmoun, H. (2009). Autonomie et dépendance des irrigants en grande hydraulique: observations de l'action organisée au Maroc et en Algérie. Natures Sciences Sociétés, 17(3), 248-256.

Kuper, M. (2011). Des destins croisés: regards sur 30 ans de recherches en grande hydraulique. *Cahiers Agricultures*, 20(1), 16-23.

Laiti, A., Penadille, Y., & Chati, T. (2005). Action des laboratoires d'essais dans le processus de modernisation des irrigations. La modernisation de l'agriculture irriguée. Actes du séminaire Euro-Méditerranéen.

Leeuwis C., Van Den Ban, A. (2004). Communication for Rural Innovation: Rethinking Agricultural Extension. Third Edition. Blackwell, Oxford

Luquet, D., Vidal, A., Smith, M., & Dauzat, J. (2005). 'More crop per drop': how to make it acceptable for farmers? Agric Water Manage 73:108-119.

Margat, J., Vallée, D. (1999). Vision méditerranéenne sur l'eau, la population et l'environnement au XXIème siècle. Plan Bleu. (http://imap.gwpmed.org/files/Vision%20Eau%20Mediterranee.pdf)

Molle, F., Mamanpoush, A., & Miranzadeh, M. (2004). Robbing Yadullah's water to irrigate Saeid's garden: hydrology and water rights in a village of Central Iran. *IWMI*, 80.

Ortiz, O., R. Orrego, W. Pradel, P. Gildemacher, R. Castillo, R. Otiniano, & I. Kahiu. (2013). Insights into potato innovation systems in Bolivia, Ethiopia, Peru and Uganda. Agricultural Systems 114: 73-83.

Pascon, P. (1980a). Les rapports entre l'Etat et la paysannerie. *Études rurales: idées et enquêtes sur la campagne marocaine*. Société marocaine des éditeurs réunis, 13-26.

Pascon, P. (1980b). Le technicien entre les bavures et le bricolage. *Etudes rurales. Idées et enquêtes sur la campagne marocaine. Société marocaine des éditeurs réunis*, 3-12.

Pascon, P. (1986). 30 ans de sociologie du Maroc: textes anciens et inédits. *Bulletin économique et social du Maroc*, 155.

Pénadille, Y. (1998). Irrigation localisée. In: Tiercelin J-R (eds) Traité d'irrigation. Lavoisier, Paris, pp 498–530.

Pereira, L.S., Cordery, I., & Iacovides, I. (2012). Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agricultural Water Management*, 108, 39-51.

Poncet, J. (2010). *Les intermédiaires en grande hydraulique. Le cas du périmètre irrigué du Gharb, Maroc.* Symposium Innovation et développement durable dans l'agriculture et l'agroalimentaire, 28 juin-1er juillet 2010, Montpellier, France. [http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/51/25/24/PDF/Poncet_ les_intermA_diares.pdf]

Poncet, J., Kuper, M., & Chiche, J. (2010). Wandering off the paths of planned innovation: The role of formal and informal intermediaries in a large-scale irrigation scheme in Morocco. Agricultural systems, 103(4), 171-179.

Popp, H.(1984). La question hydraulique : effets socio-géographiques de la politique des barrages au Maroc. Université d'Erlangen-Nuremburg :Allemagne ;266pp.

Postel, S.L. (2000). Entering an era of water scarcity: the challenges ahead. Ecological Applications 10 (4): 941-948

Quarouch, H., Kuper, M., Abdellaoui, E.H., & Bouarfa, S. (2014). Eaux souterraines, sources de dignité et ressources sociales: cas d'agriculteurs dans la plaine du Saïss au Maroc. *Cahiers Agricultures*, *23*(3), 158-165.

Robbins, P. T. (2007). The reflexive engineer: perceptions of integrated development. Journal of International Development, 19(1), 99-110.

Schumpeter, J.A. (1911). Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung. Paris : Dalloz.

Seckler, D., Molden, D., & Sakthivadivel, R. (2003). The concept of efficiency in water resources management and policy. Water productivity in agriculture: Limits and opportunities for improvement, 37-51.

Sirjacobs, M., Slama, D.O. (1983). Irrigation localisée d'une culture de poivrons sous serre en région aride—Approche pratique de la gestion des apports d'eau. *Bulletin des recherches agronomiques de Gembloux*, 18(2), 137-148.

Slatni, A., Mailhol, J.C., Zairi, A., Château, G., & Ajmi, T. (2005). Analyse et diagnostic de la pratique de l'irrigation localisée dans les périmètres publics irrigués de la basse vallée de la Medjerda en Tunisie. In: Hammani, A., Kuper, M., & Debbarh, A. (eds) Proceedings of the Euro-Mediterranean conference on the modernisation of irrigated agriculture, Rabat, Morocco, 112–122.

Solomon, K.H., Dedrick; A.R. (1995). Standards development for microirrigation. In Proceedings of the 5th International Micro-Irrigation Congress, Orlando, Fla, USA,303–313.

Spielman, D. J., Ekboir, J., & Davis, K. (2009). The art and science of innovation systems inquiry: Applications to Sub-Saharan African agriculture. Technology in Society, 31(4), 399-405.

Sumberg, J. (2005). Systems of innovation theory and the changing architecture of agricultural research in Africa. Food Policy 30 (1), 21-41.

Tabet A. 1972. Nouvelle technique d'arrosage: 'l'irrigation au goutte à goutte'. *Hommes, Terre, Eaux 5:45-53.*

Tanji, K.K., Keyes, C.G. (2002). Water quality aspects of irrigation and drainage: Past history and future challenges for civil engineers. J Irrig Drain Eng 128(6):332-340.
van der Kooij, S., Zwarteveen, M., Boesveld, H., & Kuper, M. (2013). The efficiency of drip irrigation unpacked. *Agric Water Manag*, 123:103–110.

van Halsema, G.E., Vincent, L. (2012). Efficiency and productivity terms for water management: a matter of contextual relativism versus general absolutism. *Agric Water Manag* 108:9–15.

Venot, J. P., Zwarteveen, M., Kuper, M., Boesveld, H., Bossenbroek, L., Kooij, S. V. D., ... & Verma, S. (2014). Beyond the promises of technology: a review of the discourses and actors who make drip irrigation. Irrigation and Drainage, 63(2), 186-194.

Vermeiren, L., Jobling, GA. (1983). *Localized irrigation*. Irrigation and Drainage Paper No. 36. FAO: Rome; 219 pp.

Wilson, H.M. (1912). Irrigation Engineering. 6th edition, pp 47-57. (eds) John Wiley and Sons. New York.

Wolf, J.M., Gleason, J.E., & Hagan, R.E. (1995). Conversion to drip irrigation: water savings, fact or fallacy—lessons from the Jordan Valley. In: Proceedings of the 1995 water management seminar, irrigation. conservation opportunities and limitations. US Committee on Irrigation and Drainage, Sacramento, CA, 5–7 October 1995, 209–217.

Wu, I.P., Gitlin, H.M. (1983). Drip irrigation application efficiency and schedules. *Trans Am Soc Agric Eng* 26(1):92–99.

Chapitre 2. Analyse croisée des initiatives locales et programmes étatiques de développement du goutte à goutte : cas du Gharb au Maroc

Ce chapitre a été publié dans la revue Cahiers Agricultures :

Benouniche M, Kuper M, Poncet J, Hartani T, Hammani A, 2011. Quand les petites exploitations adoptent le goutte-à-goutte : initiatives locales et programmes étatiques dans le Gharb (Maroc). Cah Agric 20 : 40-47.

Selon Shah et Keller (2002), l'adoption de l'irrigation au goutte à goutte répond à deux logiques distinctes. Une première logique fondée sur un équipement « high-tech » coûteux, correspondant à une agriculture à haute valeur ajoutée, développée par de grandes exploitations ; et une deuxième logique, reposant sur un équipement plus sommaire, moins performant, mais adapté aux moyens des petits agriculteurs, accessible à travers de nombreux processus informels. Au Maroc, une diversité d'initiatives est observée, et ces deux logiques sont bien présentes sur le terrain. D'une part, les programmes de subvention à l'installation du goutte-à-goutte, mis en place par l'Etat pour contribuer à la modernisation de l'agriculture et réduire les consommations d'eau, ont concerné essentiellement les grandes exploitations, capables de cofinancer leur projet et de gérer des procédures parfois complexes (Bekkar et al., 2007). D'autre part, Poncet (2010) a mis en évidence un grand nombre d'initiatives locales informelles d'installation du goutte-à goutte à bas coût par de petits exploitants. Ces derniers font peu appel aux intermédiaires officiels (services de l'Etat, sociétés agréées), leur préférant des intermédiaires informels tels que les ouvriers des grandes exploitations, des voisins, ou de petits bureaux d'études locaux (Poncet et al., 2010).

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. A travers ce chapitre, nous montrons que les dynamiques issues des initiatives locales et étatiques se croisent et se renforcent. Si ce sont les grands exploitants qui ont impulsé la diffusion du goutte-à-goutte conforme, ce sont les programmes étatiques qui ont conforté ce développement en attirant les investisseurs à travers les subventions. Ces grands exploitants sont aussi à l'origine du développement du goutte-à-goutte par des initiatives locales, en ayant permis l'apprentissage d'une diversité d'acteurs au goutte à goutte. Enfin, en transformant le goutte-à-goutte, les initiatives locales ont permis de déconstruire l'objet de l'innovation, puis de le reconstruire en l'adaptant à différents contextes, multipliant les possibilités d'adoption par le plus grand nombre d'agriculteurs.

Ce chapitre se voit comme une ouverture sur la réflexion et la construction de notre problématique de thèse. A partir de cette construction scientifique, nous avons construit notre problématique de thèse, et les trois dimensions de l'innovation que nous allons aborder dans la suite de cette thèse (le développement, l'utilisation, et la diffusion de l'innovation technique que constitue le goutte à goutte).

Ce chapitre est dédié en premier aux différentes initiatives locales et étatiques rencontrées sur le terrain, et en deuxième lieu aux différentes adaptations réalisées sur les installations du goutte à goutte pour enfin ouvrir sur des perspectives de recherche que nous avons abordé dans cette thèse.

Étude originale

Quand les petites exploitations adoptent le goutte-à-goutte : initiatives locales et programmes étatiques dans le Gharb (Maroc)

Maya Benouniche[123]; Marcel Kuper[12]; Julie Poncet[3] ; Tarik Hartani[3] ; Ali Hammani[2]

Résumé

Les petites exploitations agricoles adoptent souvent des systèmes d'irrigation en goutte-à-goutte simplifiés, à faible coût, au lieu des systèmes sophistiqués promus conventionnellement. Nous étudions ici les processus d'adoption du goutte-à-goutte à travers des initiatives locales ou des programmes étatiques dans les exploitations du Gharb au Maroc. On distingue trois types d'installations : celles qui sont conformes aux normes internationales, subventionnées par l'Etat, dans les grandes exploitations ; celles qui sont réalisées à partir de l'expertise locale, plus simples, moins coûteuses, dans les petites exploitations maraîchères ; et celles qui sont réalisées à partir d'un matériel d'occasion, à faible coût et très mobiles, utilisées sur de petites parcelles dispersées. Ces deux derniers systèmes sont installés par des intermédiaires informels. Nous montrons que les dynamiques issues des initiatives locales et étatiques se croisent et se renforcent. Si ce sont les grands exploitants qui ont impulsé la diffusion du goutte-à-goutte conforme, ce sont les programmes étatiques qui ont conforté ce développement en attirant les investisseurs à travers les subventions. Ces grands exploitants sont aussi à l'origine du développement du goutte-à-goutte par des initiatives locales, en ayant permis la multiplication d'intermédiaires. Enfin, en transformant le goutte-à-goutte, les initiatives locales ont permis de déconstruire l'objet de l'innovation et ainsi de le reconstruire en l'adaptant à différents contextes, multipliant les possibilités d'adoption par le plus grand nombre.

Mots clés : économie de l'eau ; innovation ; irrigation localisée ; Maroc.

Thèmes : eau ; économie et développement rural.

Abstract

When small-scale farms adopt drip irrigation: Local initiatives and state programs in the Gharb (Morocco)

Small-scale farmers often adopt simplified and low-cost drip irrigation systems rather than the sophisticated systems promoted conventionally. We studied different drip irrigation systems in small-scale farms in the Gharb (Morocco), equipped through state-driven or local initiatives. The first 'high-tech' system, promoted by state subsidy

[1] Cirad UMR G-eau TA C-90/15 L'Hortus 73, rue JF Breton 34398 Montpellier cedex 5 France
[2] IAV Hassan II Madinate Al Irfane 10101 Rabat Maroc
[3] Ensa École nationale supérieure agronomique Hassan-Badi16200 Alger Algérie

programs, concerns large commercial farms, but does not reach small-scale farmers. The second system is based on local expertise. Simpler and less expensive, it concerns small-scale horticultural farms. The third is a low-cost system with second-hand mobile equipment for small plots. Small-scale farmers prefer the latter two systems, installed by informal intermediaries, because of their low cost, simpler and more flexible procedures, and rapid return on investment. We show that the dynamics of local initiatives and state programs are mutually reinforcing. The large farmers initiated the diffusion of high-tech drip irrigation, which was later consolidated by the state subsidy program. The same farmers were also at the origin of the diffusion of low-cost drip irrigation through local initiatives, by training informal innovation intermediaries. Finally, the local initiatives have allowed deconstructing the innovation object as well as its adaptation to different contexts, making it accessible to a wide range of farmers.

Key words: innovation; localized irrigation; Morocco; water saving.

Subjects: economy and rural development; water.

Introduction

Aujourd'hui, les agriculteurs adoptent de plus en plus le goutte-à-goutte pour améliorer leur quotidien dans un contexte de pénurie d'eau. Deux logiques d'adoption de ce mode d'irrigation s'opposent selon Shah et Keller (2002) : la première fondée sur un équipement coûteux, correspondant à une agriculture à haute valeur ajoutée, développée par de grandes exploitations ; et une deuxième, reposant sur un équipement plus sommaire, moins performant, mais adapté aux moyens des petits agriculteurs, accessible à travers de nombreux processus informels. Ces auteurs constatent que les petits agriculteurs n'arrivent pas à adopter un système conforme aux normes internationales, le coût de l'installation et le risque d'échec étant trop élevés.

Au Maroc, on observe aussi ces deux logiques. Les programmes de subvention à l'installation du goutte-à-goutte, mis en place par l'Etat pour aider la modernisation de l'agriculture et réduire les consommations d'eau, ont concerné essentiellement les grandes exploitations, capables de cofinancer leur projet et de gérer des procédures parfois complexes (Bekkar et al., 2007). Dans les zones aménagées, l'Etat propose aux petites exploitations une reconversion collective pour diminuer le coût d'investissement. Ces projets collectifs, qui en sont à leurs débuts, concernent la reconversion à l'échelle d'un secteur hydraulique, soit plusieurs exploitations. Cette reconversion introduit une complexité de gestion supplémentaire (dimension collective, matériel sophistiqué). Face à cette situation, Poncet (2010) a mis en évidence un grand nombre d'initiatives locales informelles d'installation du goutte-à-goutte à bas coût par de petits exploitants. Ces derniers font peu appel aux intermédiaires officiels (services de l'Etat, sociétés agréées), leur préférant des intermédiaires informels tels que les ouvriers des grandes exploitations, des voisins, ou de petits bureaux d'études locaux (Poncet et al., 2010) Les intermédiaires sont définis comme des personnes ou des institutions qui apportent un

appui au processus d'innovation en procurant information, connaissances, conseil, capital, ou en agissant comme médiateurs (Howell, 2006).

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). Les processus d'innovation commencent souvent par une période de perte de maîtrise, que les acteurs récupèrent en construisant les connaissances nécessaires à la conduite des nouvelles pratiques (Darré, 1996). Ils s'approprient à leur manière des systèmes techniques, qui évoluent par rapport aux systèmes établis par les concepteurs.

Dans cet article, nous examinons les différents types d'installations techniques d'irrigation au goutte-à-goutte existant dans les petites exploitations du Gharb au Maroc. A partir de là, nous analysons les processus par lesquels les agriculteurs se sont équipés à travers des programmes étatiques et des initiatives locales. Nous posons l'hypothèse que ces deux dynamiques, étatique et locale, se croisent et se renforcent mutuellement. A travers l'étude des différentes installations techniques, des intermédiaires impliqués dans ces processus et des motivations des agriculteurs pour l'adoption du goutte-à-goutte, nous nous interrogeons sur la pertinence des processus actuels de subvention autour du goutte-à- goutte.

Méthode

Pour étudier les conditions d'adoption du goutte-à-goutte, nous avons choisi de travailler dans la région du Gharb (nord-ouest du Maroc), où cette technique s'est fortement développée depuis les années 1990. On peut y distinguer deux zones, où les trajectoires d'adoption sont bien différentes.

La zone côtière est une zone non aménagée par l'Etat. Le goutte-à-goutte s'y est développé avec l'arrivée d'investisseurs espagnols dès les années 1990. La zone est caractérisée par des sols sableux, un climat tempéré et une nappe peu profonde de bonne qualité, utilisée pour l'irrigation et permettant la production de cultures à haute valeur ajoutée (banane, fraise, maraîchage). Des infrastructures agro-industrielles (stations de stockage et de conditionnement) se sont développées pour ces filières. En 2009, la superficie équipée en irrigation localisée, subventionnée ou non, était de l'ordre de 27 000 hectares dans cette zone, selon l'Administration agricole.

Dans la zone aménagée (rive droite du périmètre irrigué du Gharb), l'eau provient du réseau collectif étatique, progressivement mis en place depuis le début des années 1980. Certains secteurs sont aménagés pour une irrigation gravitaire, d'autres pour une irrigation sous pression pour l'aspersion. Le réseau est géré par une structure d'Etat, l'Office régional de mise en valeur agricole du Gharb (ORMVAG). Les cultures industrielles (canne à sucre, betterave à sucre, riz), les fourrages, le tournesol et les céréales dominent. Des usines de transformation (sucreries) sont implantées dans la

zone. Au plan foncier, une partie des agriculteurs a été installée dans le cadre de la réforme agraire, au sein de coopératives regroupant 20 à 30 agriculteurs, censés travailler de façon indivise les terres – 5 à 15 hectares par attributaire – qui leur avaient été allouées. L'encadrement par l'Etat y est très fort. Le goutte-à-goutte a été adopté plus tardivement dans la zone aménagée que dans la zone non aménagée par l'Etat, à travers des processus informels d'abord, puis plus largement suivant une procédure officielle. En 2009, la superficie équipée en goutte-à-goutte y était de 3 770 hectares. Récemment, un projet pilote de reconversion collective a été impulsé par l'Etat dans trois coopératives de la réforme agraire, suivant les orientations du Programme national d'économie d'eau en irrigation, qui incite à la reconversion collective pour les petites exploitations agricoles. Le projet est proposé par l'ORMVAG en collaboration avec l'industrie sucrière, qui veut inciter les agriculteurs à cultiver la canne à sucre.

De précédents travaux de notre équipe autour des processus d'adoption du goutte-à-goutte dans le Gharb (Poncet, 2010) ont permis :

- d'identifier les différentes trajectoires d'adoption et les intermédiaires impliqués ;

- d'établir une typologie des installations d'irrigation au goutte-à-goutte, en distinguant les initiatives étatiques et locales. Sur cette base, nous avons analysé les démarches de mise en place de chaque type d'installation, par des entretiens réalisés auprès de personnes ressources (agents de l'Office et ingénieurs conseil) et de 40 agriculteurs, choisis en fonction de la taille de l'exploitation et du type d'installation adopté. Une grille d'analyse a servi à structurer ces enquêtes à partir des principaux composants du système technique, des processus d'installation, et des motivations pour la mise en place des systèmes issus d'initiatives locales et des programmes étatiques.

En suivant cette grille d'analyse, nous allons d'abord présenter les installations issues d'initiatives locales, puis celles réalisées dans le cadre du programme étatique. Ensuite, nous allons analyser comment ces deux dynamiques se croisent et se renforcent, suivant notre hypothèse centrale. Enfin, nous terminons par une discussion- conclusion pour mettre en débat les conditions d'adoption du goutte-à-goutte par les petites exploitations agricoles et réfléchir à la pertinence des processus actuels de subvention autour du goutte-à-goutte.

Résultats

Installations issues d'initiatives locales

Les investisseurs espagnols de la zone côtière ont joué un rôle important dans la diffusion du goutte-à-goutte dans les années 1990, en formant sur leurs exploitations des gérants et des ouvriers agricoles venant des villages voisins. Motivés par l'expérience acquise, ces gérants se sont installés à leur compte pour réaliser des cultures à forte valeur ajoutée (bananes, fraises, maraîchage), irriguées au goutte-à-

goutte (figure 1). A leur tour, ils ont formé de nouveaux ouvriers agricoles sur leurs exploitations.

A partir de 1995, les ouvriers des grandes fermes adoptent à leur tour le goutte-à-goutte sur leurs propres exploitations. Disposant de petites superficies et de peu de moyens, ils l'ont adapté à leur situation, utilisant du matériel d'occasion, parfois récupéré sur les fermes espagnoles. Leur expérience a encouragé d'autres petits agriculteurs à mettre en place le goutte-à-goutte pour faire du maraîchage. On peut distinguer trois types d'installations (figure 1) :

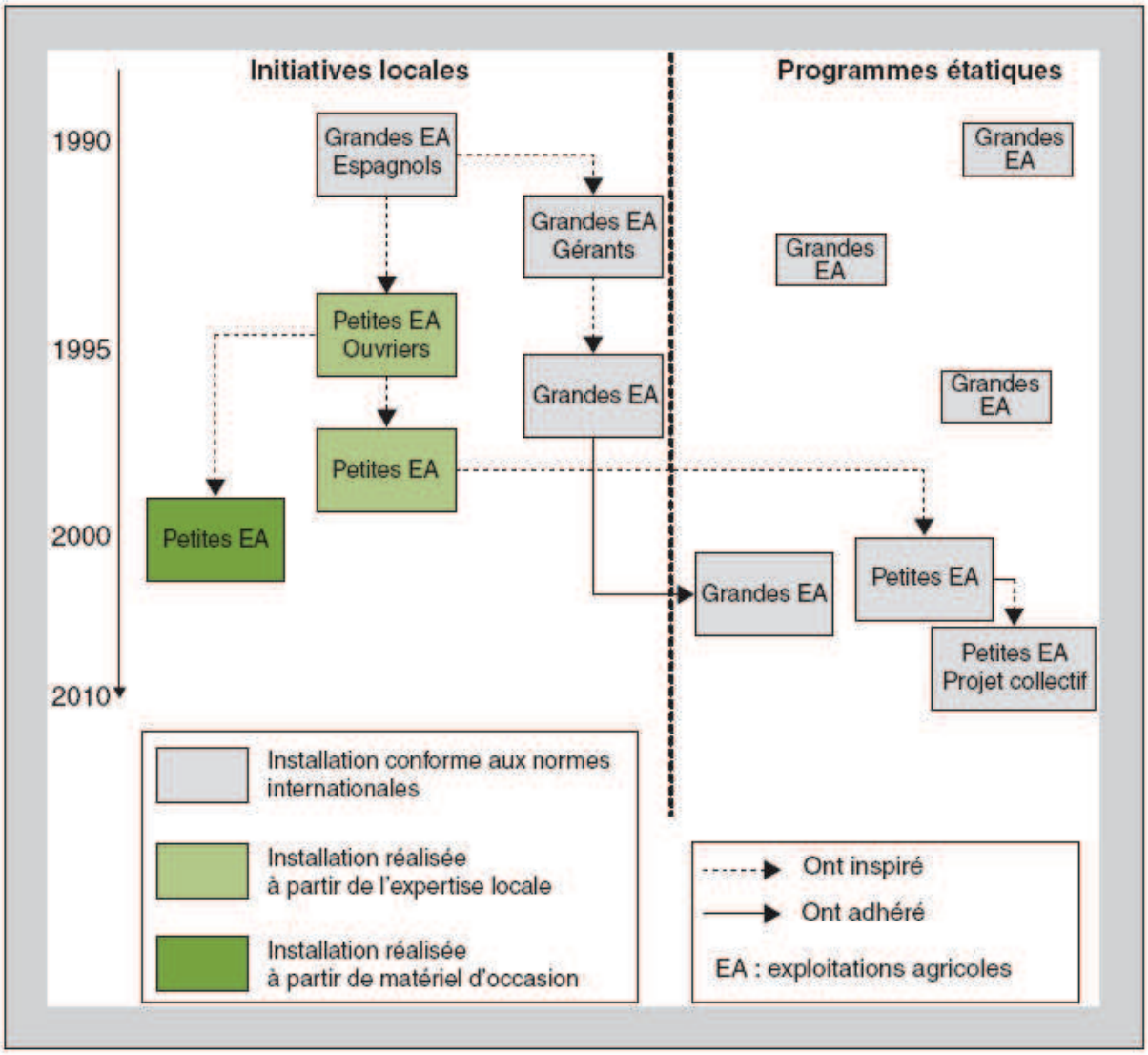

Figure 1. Développement des installations de goutte-à-goutte à travers les programmes étatiques et les initiatives locales dans le Gharb.

Figure 1. Development of different drip irrigation systems in state programs and through local initiative in the Gharb.

1. Les installations conformes aux normes internationales, reprises par le ministère de l'Agriculture dans le programme national d'économie d'eau, comportent tous les

composants du système goutte-à-goutte d'origine : une station de captage, un bassin de stockage, une station de filtration, une station de fertigation (pour mélanger l'engrais à l'eau d'irrigation) et des équipements à la parcelle. Elles concernent surtout les grandes fermes orientées vers des cultures à haute valeur ajoutée. On trouve ces installations en zone non aménagée, et plus récemment dans la zone aménagée, grâce aux programmes de subvention. Des sociétés agréées par l'Etat venant d'Agadir se sont installées dans la zone non aménagée, attirées par, et en appui à, cette dynamique. La motivation des grands exploitants pour installer le goutte-à- goutte est d'assurer un contrôle de la qualité de la production par la maîtrise de l'irrigation et de la fertigation. La majorité de ces installations en zone côtière n'ont pas été subventionnées. Cependant, depuis 2006, la simplification de l'accès à la subvention tend à inverser la tendance. L'adoption ne se fait hors programme étatique qu'en cas de problème pour fournir les pièces constitutives du dossier (titre foncier, autorisation de pompage). Une installation conforme aux normes coûte environ 3 500 à 3 700 euros/ha sans bassin et 5 000 euros/ha avec bassin.

2. Les installations réalisées à partir de l'expertise locale inspirées des installations conformes ; elles plus simples, moins coûteuses et desservent de petites superficies maraîchères, inférieures à 5 hectares. Elles comportent une station de captage, une station simplifiée de fertigation, et des équipements à la parcelle. Le plus souvent ces installations n'ont ni bassin de stockage, ni filtration, les agriculteurs estimant la qualité de l'eau souterraine suffisante pour se passer de filtration, même si cela peut écourter la durée de vie de l'équipement à la parcelle (2 ans), car il se bouche plus vite. Les installations sont réalisées par les gérants et ouvriers des grandes fermes de la zone côtière, ou par des sociétés locales, installées sur les marchés hebdomadaires où les agriculteurs s'approvisionnent. Les motivations des agriculteurs étudiés qui adoptent ce type d'installation, sont la facilité de la conduite de l'irrigation, une meilleure utilisation des engrais grâce à la fertigation, et une économie de main-d'œuvre. Des marchés spécialisés dans la vente de matériel neuf de goutte-à-goutte et des sociétés locales, spécialisées dans la réalisation des installations, mais pas nécessairement agréées par l'Etat, sont apparus. Les premiers temps, les installations à expertise locale étaient relativement coûteuses (2 000 euros/ha), mais les prix ont baissé (1 000 euros/ha) du fait du développement des marchés de matériel de goutte-à-goutte.

3. Les installations réalisées à partir d'un matériel d'occasion, plus récentes, qui utilisent ce matériel sur des exploitations maraîchères ayant de petites parcelles (souvent inférieures à 2 hectares) dispersées. Ces installations comportent une station de captage, une station simplifiée de fertigation, et des équipements à la parcelle qui sont d'occasion. Ces équipements et les motopompes sont mobiles et tournent entre les parcelles. Les ouvriers embauchés pour la mise en place du système sont des agriculteurs ayant des installations à expertise locale. L'installation du goutte-à-goutte sur ces exploitations est motivée par la disponibilité de matériel à faible coût sur le marché d'occasion (300 à 400 euros/ha), la conduite facile de l'irrigation et de la

fertigation (doses, répartition et périodes d'apport), et l'économie de main-d'œuvre. Ce type d'installation se rencontre uniquement dans la zone non aménagée.

La diffusion du goutte-à-goutte hors zone aménagée s'est majoritairement réalisée en dehors de l'intervention de l'Etat. Les installations techniques se révèlent très différentes de celles qui sont préconisées dans les cahiers des charges des procédures de subvention (installations incomplètes, mobiles, matériel d'occasion). Les intermédiaires impliqués sont majoritairement informels (ouvriers, voisins, bureaux d'études locaux non agréés), les transactions se font de manière orale, et les agriculteurs n'ont pas besoin d'avancer d'argent pour leurs équipements (paiement à la récolte). Seuls les ouvriers embauchés pour l'installation initiale sont payés en début de campagne (10 à 20 euros seulement). De plus, les interactions ne se limitent pas à la conception et à la réalisation des installations, ces experts locaux fidélisent leur clientèle en la conseillant tout au long de la campagne sur les calendriers de culture, d'irrigation et de fertigation, et sur l'entretien (visite d'exploitation, discussion le jour du souk. . .).

Programmes étatiques : une aide financière mais aussi un accès à l'expertise et au matériel de qualité

La reconversion individuelle subventionnée reste limitée aux grandes exploitations

Avant 1996, les premières subventions ne portaient que sur certains éléments des installations ou sur l'aide à l'importation de matériel. Depuis, les taux de subvention ont été régulièrement augmentés : de 10-30 % du coût de l'installation en 1996, ils sont montés à 30-40 % en 2002, ont été relevés à 60 % en 2006, puis à 80-100 % en 2010. Parallèlement, les conditions d'accès à la subvention ont été simplifiées par la création d'un guichet unique. La subvention est conditionnée par une conception et une réalisation du projet par des sociétés agréées, permettant aux agriculteurs de bénéficier d'une expertise pour la conception du projet de goutte-à-goutte et d'accéder à du matériel homologué de bonne qualité. Le programme national d'économie d'eau en irrigation de 2007 vise, à l'horizon 2020, la reconversion de 550 000 hectares en irrigation localisée.

Jusqu'à présent, les subventions accordées dans le Gharb concernent essentiellement les grandes exploitations ; c'est aussi le cas ailleurs au Maroc (Bekkar et al., 2007). En 2009, le montant des subventions accordées aux exploitations équipant une superficie supérieure à 10 hectares (39 dossiers sur 69) était de 4,7 millions d'euros, soit 94 % du montant total des subventions accordées durant l'année dans toute la région du Gharb. Seuls 12 dossiers ont concerné des superficies inférieures à 5 hectares.

Habitués aux procédures administratives, les grands exploitants constituent plus facilement les dossiers de subvention. Il faut en effet fournir de nombreux documents, dont certains sont difficiles à obtenir (autorisation de pompage, titre foncier). Habitués à établir des contrats oraux (marchés informels de la terre et de l'eau), les petits

exploitants perçoivent le recours aux documents écrits comme une procédure lourde et chronophage ; il faut de plus faire appel à quelqu'un d'instruit et se déplacer dans les diverses administrations. Il y a une certaine réticence, voire une « peur », vis-à-vis des papiers, pour des agriculteurs qui font la relation entre papiers, sanctions et impôts. Les petites exploitations qui obtiennent des subventions, ont souvent des liens avec l'Administration et savent mobiliser ses agents pour surmonter les difficultés procédurales. Enfin, les grands exploitants négocient plus facilement avec les sociétés la réalisation d'études techniques à coût zéro et disposent de moyens pour préfinancer la mise en place du système ou obtiennent des facilités de paiement de ces sociétés. On distingue trois périodes dans le développement du goutte-à-goutte subventionné (figure 2).

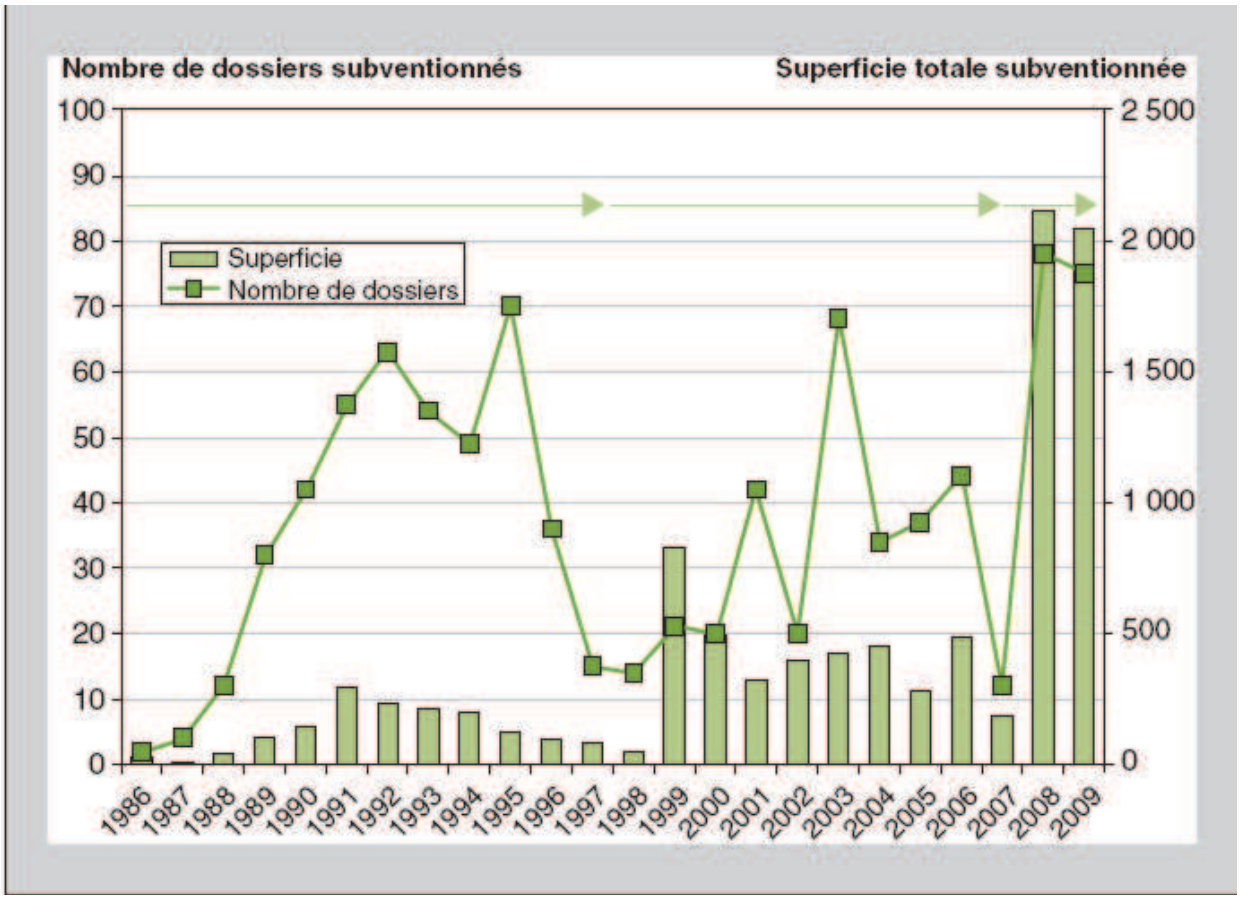

Figure 2. Superficies équipées en irrigation au goutte-à-goutte et nombre de dossiers de subvention dans le Gharb entre 1986 et 2009

Figure 2. Surface area equipped in drip irrigation and number of subsidies granted in the Gharb between 1986 and 2009

La première est une période d'expérimentations (1986-1996), durant laquelle on passe de 2 à 70 dossiers de subvention par an. Entre 1986 et 1992, un nombre important de dossiers est lié à l'installation de petites superficies de bananeraies, en zone non aménagée. Dans la zone aménagée, il s'agit essentiellement de grandes exploitations, équipant une partie seulement de leur surface (2-3 hectares). La technique est alors

nouvelle, les agriculteurs ne prennent pas de risques. La baisse du nombre de dossiers en 1997 et 1998 est liée à la mise en place de nouvelles procédures et au temps nécessaire pour instruire les dossiers. Vient ensuite une période d'adoption du goutte-à-goutte par les grandes exploitations (1999-2006). Durant cette période, le nombre de dossiers reste stable, mais les superficies équipées augmentent (10-15 hectares par dossier), les agriculteurs étant encouragés par la réussite des premières expériences dans la région.

Après une nouvelle baisse momentanée en 2007, expliquée aussi par la mise en place de nouvelles procédures, commence, à partir de 2008, une période d'investissement massif des grandes exploitations, qui équipent en irrigation au goutte-à-goutte la totalité de leurs parcelles. L'arrivée de nombreux investisseurs privés, suite à la concession des terres du domaine privé de l'Etat, explique aussi cette hausse.

Dans la zone aménagée, et en dehors des grandes exploitations, les premières reconversions au goutte-à-goutte ont lieu au sein d'une coopérative issue de la réforme agraire. En 2005, un agriculteur, en lien avec un ancien gérant d'une exploitation espagnole, a réalisé une installation avec expertise locale pour produire des melons. L'absence de titre foncier individuel et l'endettement de la coopérative auquel il appartient, ainsi que la réticence de l'Administration à encourager la multiplication de petits bassins, l'ont empêché d'obtenir la subvention. Cependant, assuré de l'approvisionnement en eau, cet agriculteur a franchi le pas de l'adoption du goutte-à-goutte sur une partie de son exploitation, sans subvention. L'année suivante, les bons rendements obtenus pour le melon l'ont poussé à reconvertir l'ensemble de ses parcelles. La réussite de cet agriculteur a montré que le succès du goutte-à-goutte en zone côtière était à portée de main des agriculteurs de la zone aménagée, incitant d'autres agriculteurs de la coopérative à adopter le goutte-à-goutte pour pratiquer le maraîchage. Ce succès a alors décidé l'Administration à aider les agriculteurs à obtenir des subventions individuelles. Lors de l'extension de son installation, le premier agriculteur a pu lui aussi formuler une nouvelle demande de subvention, qui a été acceptée.

Reconversion collective : une conception sous forte impulsion de l'Etat, peu adaptée aux petites exploitations

Trois coopératives (436 hectares) de la zone aménagée ont été concernées par un projet pilote de reconversion collective de l'aspersion vers le goutte-à- goutte. Le projet a été proposé par l'Administration dès 2003, suite aux plaintes des agriculteurs concernant la dégradation du matériel d'irrigation existant et le coût élevé de l'eau. Le projet sera finalement mis en œuvre en 2007, une fois que les attributaires de ces coopératives eurent estimé réunies les conditions nécessaires :

- l'implication de l'industrie sucrière pour assurer un débouché commercial (canne à sucre) et pour financer la part non subventionnée ;

- la connaissance préalable de la technique acquise grâce à leurs liens avec la zone côtière (liens familiaux, fonciers, ou professionnels) ;

- le constat de la réussite de projets de reconversion individuelle dans une coopérative voisine.

L'installation, très complète, du matériel de pointe, est branchée sur les bornes collectives sous pression, précédemment destinées à l'aspersion. Elle comporte une station de tête collective et des stations individuelles de filtration et de fertigation pour chaque exploitation. Ces agriculteurs ont bénéficié de plusieurs expertises professionnelles :

- les services d'une société agréée pour l'installation du système ;

- un ingénieur de la sucrerie pour le suivi de la culture et de l'irrigation ;

- des agents de l'Office pour la formation des fils d'agriculteurs, jugés plus aptes à assimiler la nouvelle technique que leurs parents.

Les motivations des agriculteurs étaient avant tout d'accéder au statut jugé favorable des agriculteurs de la zone côtière, au moyen d'une agriculture à plus haute valeur ajoutée (maraîchage, notamment), irriguée au goutte-à-goutte. Ils ont dû accepter la proposition de la sucrerie (produire de la canne à sucre), car elle permettait des facilités de paiement pour l'investissement et diminuait les risques du fait du débouché assuré à la production.

La société chargée de la mise en place du système avait conçu le système collectif du goutte-à-goutte pour que les agriculteurs puissent irriguer, tous en même temps, une partie de leurs parcelles. Trouvant la technique d'irrigation chronophage (10 vannes à manipuler toutes les 90 minutes, pour 2 hectares) et l'installation inadéquate par rapport à leurs attentes, les agriculteurs ont mis en place des arrangements, en se relayant pour irriguer leurs parcelles mais aussi celles d'autres agriculteurs de la coopérative, et ainsi diminuer leur présence sur la parcelle. Ils ont aussi réduit le nombre de vannes, pour une irrigation plus aisée. Ils ont ainsi adapté l'installation avec une pratique d'irrigation différente de celle qui avait été proposée au début du projet, tout en maintenant une organisation collective.

Des initiatives locales et des programmes étatiques qui se croisent et se renforcent

Trois processus d'adoption coexistent dans le Gharb : un processus d'initiative locale et deux processus encadrés par l'Etat. Ces trois processus se sont fortement influencés les uns les autres.

Les premiers investisseurs ayant adopté le goutte-à-goutte après l'installation des Espagnols ont bénéficié de subventions, dans le cadre du processus de reconversion individuelle subventionnée. Ces exploitants, comme les Espagnols, en ayant recours à de

la main d'œuvre locale pour l'irrigation, ont contribué à la diffusion de connaissances sur le goutte-à-goutte et donc à la diffusion de cette technique, dans le cadre de processus d'adoption relevant de l'initiative locale. Les intermédiaires de ces processus relevant de l'initiative locale sont issus de la dynamique de ces exploitations, que ce soient les gérants, les ouvriers, ou les sociétés locales qui se sont installées dans la zone côtière, attirées par cette nouvelle dynamique. Le matériel d'irrigation lui-même circule entre les grandes exploitations subventionnées et les autres, à travers la revente de matériels d'occasion.

Lors de la diffusion du goutte-à-goutte par les initiatives locales, l'innovation se transforme (adaptation aux conditions locales et aux nouvelles cultures). Il y a production de nouveaux savoirs locaux autour du goutte-à-goutte, et l'équipement devient moins cher et plus mobile. Cette transformation de la technique du goutte-à-goutte permet aussi de « désacraliser » l'innovation et de la rendre accessible à de nouveaux agriculteurs : le goutte-à-goutte n'est pas réservé à la production de fraises, ni aux grandes exploitations.

En zone aménagée, les agriculteurs entretiennent des liens avec la zone côtière : certains ont de la famille et ont travaillé chez des parents comme ouvriers agricoles, d'autres y ont loué leurs services aux grandes fermes et ont développé des réseaux d'amitié avec des gérants. Les agriculteurs des coopératives de la réforme agraire du secteur gravitaire mobilisent leurs liens avec ces intermédiaires informels pour élaborer leurs projets de reconversion et en préciser la conception technique. Cependant, au moment de la réalisation de l'installation, ils ont recours aux intermédiaires officiels, de façon à pouvoir obtenir l'autorisation de creuser un bassin et avoir accès aux subventions. Les premières exploitations reconverties n'ayant pas réussi à obtenir des subventions, nous observons alors une nouvelle transformation de l'innovation : les installations techniques de goutte-à-goutte sont complètes, mais elles comportent des éléments copiés sur les installations faites avec l'expertise locale, comme des stations de fertigation réduites à un simple bidon. Par la suite, ces exploitations ont servi de modèles pour d'autres agriculteurs voisins, ainsi que pour l'Office, qui y a organisé de nombreuses visites. Nous pouvons considérer que ces exploitations sont à la charnière entre les initiatives locales, dont elles s'inspirent et sur lesquelles elles s'appuient, et les initiatives étatiques, qu'elles inspirent à leur tour.

Les reconversions collectives dans les secteurs d'irrigation par aspersion sont aussi issues d'initiatives locales. Comme pour les agriculteurs des secteurs gravitaires, les liens avec la zone côtière ont été déterminants pour prendre la décision de se reconvertir en goutte-à- goutte. Les reconversions individuelles voisines du secteur d'irrigation gravitaire ont aussi motivé les agriculteurs leaders du projet pour faire appel à l'Administration et à la sucrerie, de façon à pouvoir lever aussi les contraintes financières et techniques et ainsi convaincre l'ensemble des agriculteurs des coopératives concernées.

Depuis sa réalisation, le projet fait des émules, d'autres agriculteurs actuellement en aspersion ou en gravitaire souhaitent adopter le goutte-à-goutte pour produire de la canne à sucre. Nous assistons à une sorte de combinaison technique des expériences individuelles du secteur gravitaire, et collectives du secteur en aspersion. De petits agriculteurs en gravitaire souhaitent entreprendre une reconversion collective au goutte-à-goutte en installant un bassin collectif, tandis que des agriculteurs disposant d'une borne d'aspersion pour leur seule exploitation souhaitent effectuer une reconversion individuelle, mais en s'inspirant du schéma technique proposé aux membres des coopératives en aspersion.

Enfin, suite à la mise en place de nouveau taux de subvention (100 % pour les exploitations de moins de 5 hectares), il est possible que nous puissions observer dans l'avenir un rétro-effet des initiatives étatiques vers les initiatives locales, avec la mise à niveau technique des premières installations de la zone côtière.

Discussion et conclusion

Conditions d'adoption du goutte-à-goutte dans les petites exploitations

Nous avons montré que les dynamiques issues des initiatives locales et étatiques se croisent et se renforcent mutuellement. De ces influences, nous pouvons tirer des leçons pour améliorer les conditions d'adoption du goutte-à-goutte par les petites exploitations.

De manière générale, tous les agriculteurs ont recours à des experts, à des conseillers, pour monter leur projet, le réaliser et utiliser le goutte-à-goutte. Si les intermédiaires informels interviennent tant dans les processus d'adoption des petites exploitations du secteur aménagé, c'est que leur rôle ne se limite pas à la constitution du dossier de subvention et à la réalisation des travaux. Ces intermédiaires sont aussi disponibles lors de la formulation du projet, de sa conception, de sa réalisation, puis de son fonctionnement.

En zone côtière, les petits agriculteurs n'ont pas recours aux intermédiaires officiels. Mais ils ne se passent pas pour autant d'expertise. Ici, les experts sont locaux, accessibles géographiquement, socialement et financièrement. Mais ils ne sont pas directement issus des initiatives locales, ils sont issus de la dynamique impulsée par des investisseurs non propriétaires de la terre, qui ont une forte mobilité foncière (contrats de location) et qui font évoluer leurs formes d'exploitation au gré des initiatives étatiques (subvention et non-imposition des productions agricoles) ; on retrouve ici un type d'exploitants qu'Olivier de Sardan (1995) appelle les rentiers du développement. Reconnaître, appuyer et encadrer ces intermédiaires informels dans les programmes de subvention permettrait à la fois de faciliter les échanges entre ces intermédiaires et les petits agriculteurs dont ils sont les interlocuteurs habituels, mais aussi de contrôler la qualité des services rendus.

La transformation de l'innovation au cours du temps, que Darré (1996) avait analysé, se retrouve ici : cette transformation, lancée majoritairement par les initiatives privées, a permis à d'autres agriculteurs, mais aussi à l'Administration d'envisager le goutte-à-goutte comme étant adaptable à diverses situations (taille des parcelles, ressources en eau, capital disponible, types de cultures irriguées, zone aménagée par l'Etat ou non). Une première étape a été franchie dans les programmes étatiques en concevant des reconversions collectives, mais aussi en relevant les taux de subvention pour les exploitations de moins de 5 hectares. Cependant, cela n'a pas remis en question les normes techniques établies dans les cahiers des charges, perçues par les petits agriculteurs comme des contraintes à la fois financières et techniques.

Les installations utilisant l'expertise locale ou mobilisant du matériel d'occasion, permettent à des agriculteurs aux ressources financières limitées d'avoir accès au goutte-à-goutte. Dans une étude au Népal, Von Westarp et al. (2004) montrent, que, dans des conditions locales d'utilisation par des petits agriculteurs, le goutte-à-goutte à faible coût permet en fait d'obtenir des rendements en maraîchage équivalents, voire supérieurs, au goutte-à- goutte conventionnel. En conséquence, Shah et Keller (2002) invitent à revoir la conception technique du goutte-à-goutte pour l'adapter aux conditions des petites exploitations. Dans les programmes étatiques de subvention, cela pourrait se traduire par des kits technologiques inspirés des systèmes à initiative locale (plus simples, mobiles, moins coûteux et pouvant être rentabilisés plus rapidement). Les conditions d'adoption du goutte-à-goutte par les petits exploitants en seraient grandement améliorées.

La solution collective telle qu'elle a été mise en œuvre dans le projet pilote ne s'étant pas appuyée sur les expériences locales et informelles, s'est révélée peu adaptée aux conditions d'exploitation des agriculteurs. Cependant, ce projet a permis aux petits exploitants, et notamment aux fils d'agriculteurs, d'expérimenter le goutte-à-goutte. En modifiant le dispositif hydraulique et en mettant en place de nouvelles règles de gestion, ceux-ci pourraient constituer des porte-parole (Akrich et al., 1988) à même de tirer les leçons du projet collectif, en complément des leçons tirées des expériences locales informelles. Ces porte-parole, représentant les petites exploitations en interaction avec les structures de l'Etat et le secteur privé, pourraient faire évoluer les programmes étatiques, en permettant de les adapter aux conditions d'exploitation des petits agriculteurs.

L'Etat, à travers son programme de subvention, veut encourager les économies d'eau et l'intensification des cultures, par la modernisation des systèmes d'irrigation. De leur côte´, les agriculteurs adoptant le goutte-à-goutte visent l'amélioration de leurs rendements, l'adoption de cultures à plus haute valeur ajoutée et des économies de main-d'œuvre. Le dialogue entre l'Etat et les agriculteurs autour des objectifs d'économie et de valorisation de l'eau se limite aujourd'hui à une discussion sur le dispositif technique – hardware (Smits, 2002) –, et cela principalement avec les grands agriculteurs. Le fonctionnement à long terme des installations d'irrigation au goutte-à-

goutte est laissé à la discrétion des exploitants, ignorant ainsi la nécessité d'accompagner les exploitants et les intermédiaires, en renforçant les savoir-faire (software) et l'organisation autour de l'innovation (orgware), qui eux se développent jusqu'à présent de manière informelle.

Remettre les économies d'eau au centre du dialogue, demandera la formulation de politiques de l'irrigation plus centrées sur les ressources humaines.

Références

Akrich M, Callon M, Latour B, 1988. À quoi tient le succès des innovations ? 2 : Le choix des porte-parole. Gérer et comprendre. *AnnMines* 12 : 14-29.

Bekkar Y, Kuper M, Hammani A, Dionnet M, Eliamani A, 2007. Reconversion vers des systèmes d'irrigation localisée au Maroc : quels enseignements pour l'agriculture familiale ? *Hommes, Terre Eaux* 137 : 7-20.

Darré JP, 1996. *L'invention des pratiques dans l'agriculture. Vulgarisation et production locale de connaissance*. Paris : Karthala.

Howell J, 2006. Intermediation and the role of intermediaries in innovation. *Res Policy* 35 : 715-28.

Olivier de Sardan JP, 1995. Anthropologie et développement. *Essai en socioanthropologie du changement social.* Paris : APAD ; Karthala.

Poncet J, Kuper M, Chiche J, 2010. Wandering off the paths of planned innovation: the role of formal and informal intermediaries in a large scale irrigation scheme in Morocco. *Agricultural Systems* 103 : 171-9.

Poncet J, 2010. *Les intermédiaires en grande hydraulique*. *Le cas du périmètre irrigué du Gharb, Maroc.* Symposium Innovation et développement durable dans l'agriculture et l'agroalimentaire, 28 juin-1er juillet 2010, Montpellier, France. http:// hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/51/25/24/PDF/Poncet_ les_intermA_diares.pdf.

Schumpeter JA, 1911. *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*. Paris : Dalloz.

Shah T, Keller J,2002. Micro-irrigation and the poor: a marketing challenge in smallholder irrigation development. In: Sally H, Abernethy CL, eds. *Regional Seminar on Private Sector Participation and Irrigation Expansion in Sub-Saharan Africa, Accra, Ghana, 22-26 October 2001.* Colombo (SriLanka) : IWMI ; FAO ; ACP-EU Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation.

Smits R, 2002. Innovation studies in the 21st century: questions from a user's perspective. *Technol Forecast Soc* 69 : 861-83.

Von Westarp S, Chieng S, Schreier H, 2004. A comparison between low-cost drip irrigation, conventional drip irrigation, and hand watering in Nepal. *Agricultural Water Management* 64 :143-60.

Chapitre 3. Le *bricolage* comme innovation : Ouvrir la boîte noire du système d'irrigation au goutte à goutte

Ce chapitre a été publié sous forme d'article :

Benouniche, M., Zwarteveen, M., & Kuper, M. (2014). Bricolage as innovation: opening the black box of drip irrigation systems. *Irrigation and Drainage*. DOI: 10.1002/ird.1854

L'irrigation au goutte à goutte connait un développement rapide de par le monde, engendrant une multiplicité de matériels et de systèmes d'irrigation, en particulier à partir des années 1970. Un manuel de la FAO publié en 1983 (Vermeiren et Jobling, 1983) a même affirmé que la diversité des équipements était si grande, et les modèles changeaient si rapidement, qu'il était impossible de les énumérer et de les décrire. Ceci a incité différentes institutions concernées par l'irrigation du monde entier à développer des standards pour l'irrigation au goutte à goutte (Dedrick 1986; Solomon and Dedrick, 1995). Ces standards ont été progressivement centralisés dans des institutions comme le Comité européen de normalisation (CEN), et l'Organisation internationale de normalisation (ISO). La mise en place des standards reflète le souhait des ingénieurs à classer et de à distinguer la technique entre « bonne » et « mauvaise » technologies, une distinction qui fonctionne simultanément à protéger leur savoir-faire. En effet, à travers cette standardisation l'ingénieur ambitionne de se rendre maitre de la technique pour détenir l'unique savoir concernant la technologie. Au Maroc, le goutte à goutte a été introduit dans les grandes exploitations agricoles dans les années 1970 et 1980. L'utilisation de systèmes d'irrigation goutte à goutte basés sur les normes internationales rencontraient des problèmes en raison leur coût, mais aussi à cause de problèmes techniques (par exemple le colmatage des goutteurs), et le manque d'expérience des utilisateurs (Popp, 1984). Dans ce chapitre, nous montrons, comment les acteurs non-conventionnels à travers un processus qu'ils qualifient de *bricolage* ont adapté les installations, et créé des normes locales et remettent en cause les normes internationales. Dans ce chapitre, nous documentons trois instances de bricolage : 1) la première instance concernait l'ensemble des acteurs locaux occupé à faire marcher des équipements importés à travers un *bricolage* au quotidien, 2) la deuxième instance était relative à une réingénierie des systèmes d'irrigation au goutte à goutte pour les adapter aux conditions locales, et 3) pendant la troisième instance, les différentes composantes adaptées intégraient les normes nationales afin de se qualifier pour la procédure de subventions de l'Etat. Le *bricolage* a ainsi permis la conception de systèmes plus adaptés aux conditions locales, mais aussi un apprentissage graduel de la technique. Dans ce chapitre, nous postulons que la système d'irrigation au goutte à goutte n'est pas une boite fermée où seuls les ingénieurs détiennent la clé. Elle nécessite parfois des modifications selon les conditions d'utilisations pour qu'elle fonctionne. Nous montrons ainsi que la technique d'irrigation au goutte a connu un succès important auprès de ses

utilisateurs précisément par ce qu'elle se prête au bricolage. A travers ce processus les acteurs locaux ont ainsi pris le contrôle de l'innovation et prennent des responsabilités dans des domaines que l'on pensait réservés aux ingénieurs.

Notre étude contribue à enrichir les débats scientifiques à deux niveaux ; le premier dans les sciences d'innovation, où nous démontrons que le processus d'innovation n'est pas linéaire mais un processus complexe, largement imprévisible et créatif qui consiste en interactions et négociations itératives entre agriculteurs, ingénieurs et de nombreux autres acteurs. Ce processus peut ainsi conduire à de nouvelles normes, dynamiques et localisées pour la technologie et où la notion de bricolage reconnaît ainsi que les technologies ont toujours besoin de modifications et d'adaptations pour les rendre utilisables dans des contextes spécifiques de différents utilisateurs et différents usages pour en faire un goutte à goutte « de proximité ». Deuxièmement, notre étude remet en cause la place de l'ingénieur dans le monde du goutte à goutte. Aujourd'hui cet ingénieur doit accepter qu'il n'est plus le détenteur unique de la technologie, il se trouve obligé d'intégrer le processus de bricolage pour pouvoir continuer sa pratique professionnelle.

IRRIGATION AND DRAINAGE
Irrig. and Drain. (2014)
Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/ird.1854

BRICOLAGE AS INNOVATION: OPENING THE BLACK BOX OF DRIP IRRIGATION SYSTEMS

MAYA BENOUNICHE[4,5], MARGREET ZWARTEVEEN[6] AND MARCEL KUPER[4,5]

ABSTRACT

In Morocco, many farmers enthusiastically use drip irrigation. However, few drip irrigation systems conform to engineering standards. In a process they refer to as *bricolage*, farmers modify and adapt standard designs, thus creating their own technical standards. We document three instances of *bricolage* and show that it is a useful term to explain irrigation innovation processes. Through *bricolage* farmers adapt and modify the system to their needs, but also enter a process of gradual learning about what drip irrigation is and what it can achieve. *Bricolage* has led to the multiplication and diversification of drip systems, with different categories of users co-designing the nature and direction of change it provokes. Through *bricolage*, local actors effectively share responsibilities of the design process with engineers. The paper concludes that the fact that drip irrigation lends itself to *bricolage* helps explain its success as an innovation.

Key words: drip irrigation; innovation; adaptation; learning; standards; Morocco

Received 4 June 2013; Revised 28 January 2014; Accepted 28 January 2014

RESUME

Au Maroc, de nombreux agriculteurs utilisent l'irrigation au goutte à goutte. Pourtant, peu de systèmes de goutte à goutte sont conformes aux normes fixées par des ingénieurs. Dans un processus qu'ils qualifient de *bricolage*, les agriculteurs adaptent les installations, et créent des normes locales. Nous documentons trois instances de *bricolage*, et montrons que le terme *bricolage* est utile pour expliquer le processus d'innovation en irrigation. Le *bricolage* a permis la conception de systèmes plus adaptés aux conditions locales, mais permet aussi un apprentissage graduel de la technique, et plus généralement, d'apprivoiser le changement. Les acteurs locaux ont ainsi pris le contrôle de l'innovation et prennent des responsabilités dans des domaines que l'on pensait réservés aux ingénieurs.

Mots clés: irrigation; goutte à goutte; innovation; adaptation; apprentissage; normes; Maroc

[4] Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II (IAV), Rabat, Morocco

[5] Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), UMR G-EAU, Montpellier, France

[6] Wageningen University, Water Resources Management Group, Wageningen, the Netherlands

INTRODUCTION

The rapid worldwide development of drip irrigation resulted in a multiplication of irrigation equipment, especially from the 1970s onwards. A manual of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) published in 1983 (Vermeiren and Jobling, 1983) even stated that the variety of equipment was so great, and the models changed so rapidly, that it was impossible to enumerate and describe them. This prompted different institutions around the world to develop standards for drip irrigation from (Dedrick, 1986; Solomon andDedrick, 1995). These standardswere gradually centralized in institutions like the European Committee for Standardization (CEN), and the International Organization for Standardization (ISO). Standardization reflects the wish of engineers to allow us to distinguish between 'good' and 'bad' technologies, a distinction that simultaneously works to protect their expertise. In this article, we describe field experiences with drip irrigation in Morocco to call into question the desirability and possibility of universal standards for irrigation technology.

Drip irrigation was introduced in Morocco on large-scale farms in the 1970s, following exchanges with international scientists and engineers. Tabet (1972) mentions a lecture on drip irrigation in Morocco of an irrigation scientist from the University of California in 1972, as well as exchanges concerning drip irrigation during the 1972 conference in Varna of the International Commission on Irrigation and Drainage (ICID). On large-scale farms, the use of drip irrigation systems based on international standards encountered problems due to their cost, but also because of technical problems (e.g. clogging of drippers), and the lack of experience of users (Popp, 1984). Small-scale farmers introduced drip irrigation from the mid- 1990s onwards, and even more acutely faced such problems (Poncet, 2010). State subsidies were progressively introduced to promote drip irrigation, which accelerated the spread of the system to even more users, especially when subsidy rates increased after 2006 (Benouniche et *al.*, 2011).

In this paper, we postulate that the rapid spread of drip irrigation to a wide range of farmers inMorocco can be explained by the fact that farmers and local craftsmen opened the black box of drip irrigation systems, adapting it to their own situation, through a process that we refer to as *bricolage*. This is a term often used by local actors when referring to drip irrigation, but it also resonates well with recent works by innovation scholars, who define innovation as a process of adaptation and appropriation (Alter, 2002). Garud and Karnøe (2003) used the term in a study on contrasting technological innovation in windmills in Denmark and the United States, showing how a *bricolage* approach that 'begins with a low-tech design but ramps up progressively' is able to prevail over a high-tech breakthrough approach. Through *bricolage*, different categories of users appropriate the technology, co-steering the nature and direction of change it takes. *Bricolage* can thus be seen as a role reversal, with farmers co-steering the design process with engineers. In this study, we consider *bricolage* as a creative process of learning and adaptation—a process which changes both the users' context and the drip irrigation technology itself (and its meaning).

This paper documents three specific instances of *bricolage* on drip irrigation systems in Morocco. Our hypothesis is that *bricolage* enables farmers, and local craftsmen, to take control of the different functions of innovation (production, distribution, utilization; Geels, 2004), producing multiple drip irrigation systems for multiple purposes. Acknowledging *bricolage*, and the multiplication of systems it produces, thus calls into question uniform design standards and distributes engineering agency beyond the engineering community.

METHODOLOGY AND STUDY AREA

The study area is located in the Saiss Plain, a rich agricultural area between the cities of Meknes and Fes in northwest Morocco. In the past, the farming systems were mainly rain-fed (cereals, vineyards), with some irrigated crops (tobacco, orchards, horticulture) in some small surface irrigation schemes. Following droughts in the 1980s, many farmers progressively turned to groundwater use, which led to a sharp increase in the area under orchards (42% of the irrigated area) and horticulture (35%). The river basin agency estimates the current irrigated area to be 37 000 ha, of which 25 000 ha depend on groundwater through 12 000 individual (tube) wells. Half of the irrigated area is taken up by drip irrigation.

We interviewed the actors involved in designing and implementing drip irrigation systems in the official subsidy procedure (two official firms, two representatives from the agricultural administration). Using a checklist (date of installation, procedure of design, operation and maintenance (O&M)), and observing their drip irrigation systems (type of system, components, state of the equipment, adaptations), we then interviewed 30 farmers who had installed drip irrigation in the past 25 years. We categorized these farmers on the basis of the logic underlying their use of drip irrigation, as this determines the type of system farmers install. We identified four groups: (i) notables (5); these farmers first introduced drip irrigation in their large-scale farms (>100 ha); (ii) medium-scale reference farmers (3) aim for excellence in agricultural production on their farms (10–15 ha); these farmers are a reference for other farmers, hence their name; (iii) small-scale innovators (3) were the first to introduce drip irrigation on small-scale farms (<5 ha), and later facilitated the diffusion of drip irrigation to other small-scale farmers; (iv) small horticultural farmers (19) represent the majority of small-scale farmers (<5ha) using drip irrigation; they have a pragmatic view of what drip irrigation can do, ranging from water and/or labour saving to the precise application of inputs to achieve better yields. When farmers did not irrigate their land themselves, we interviewed their farm managers and labourers. Since only a minority of farmers had applied for a subsidy, and most farmers referred to informal actors involved in designing and installing drip irrigation systems, we then interviewed these actors. We interviewed four local fitters, three retailers and six 'welders' who manufacture and repair drip irrigation systems. In interviews with farmers and other actors we did not use the term *bricolage*, employing more neutral terms (changes, adaptations).

However, all actors referred to *bricolage*, a Frenchword assimilated into the local Arabic dialect of darija and employed unchanged from the French. Subsequently, we checked with our interviewees what they meant by this term, and what it represented to them as a practice.

RESULTS

The process of bricolage on drip irrigation in the Saiss

We identified three instances of *bricolage* related to the diffusion of drip irrigation in the Saiss (see Figure 1). The first instance corresponded to a process of learning by local actors on how to work and maintain imported equipment; the second related to a process of adaptation of the technology involving the re-engineering of drip irrigation systems; the third corresponded to a process of adaptation of local drip irrigation systems to meet the standards of official subsidy procedures. The procedures applied in the field were adapted to accommodate locally engineered systems with locally produced parts.

Instances of 'bricolage'	Making imported equipment work	Local adaptations	Assimilating the subsidy procedures
Farmers	Notability, small innovators	Notability, reference farmers, small innovators	All farmers
Actors facilitating the use of drip irrigation	Irrigation companies, labourers	Local fitters, advisers, retailers, welders	Irrigation companies, consultancy firms, local fitters, retailers, welders
	1985-1995	1995-2005	2007-

Figure 1. Three instances of *bricolage* which explain the diffusion of drip irrigation in the Saiss.

Instance 1: Making it work, day-to-day bricolage on imported equipment

From the mid-1980s onwards, companies in Casablanca who imported international standard equipment introduced drip irrigation on large-scale farms, belonging to the notables in the Saiss on a trial basis, often free of charge. Farm labourers helped install drip irrigation systems (digging the trenches, installing main and secondary lines) and thus discovered a new technique. They discussed with the engineers and technicians who came to install the systems, and observed. They were curious about the new technique, the different components of the system, and their use.

Managers and labourers had to operate the new systems, usually with very limited training. Few fellow farmers had any experience in operating the systems, and a local support sector had not yet emerged. The companies that had fitted the systems were more than 200 km away. Hence, local users of drip irrigation had to make-do, relying on their own ingenuity:

'I was in charge of the labourers operating the drip irrigation system. Whenever there was a problem, I tried to find quick solutions, especially when the emitters clogged up. I didn't tell the farm manager every time there was a problem, because that would mean contacting the company in Casablanca. The company would take time to deal with the problem, and we would lose a few days of irrigation. I had to manage, and so I used bricolage on the main lines, the drip tubing, and the filter systems…' (Mohamed, labourer, aged 31)

Through *bricolage*, labourers and farm managers learned how to operate and maintain drip irrigation systems. However, this did not lead to the disappearance of *bricolage*. They had come to appreciate *bricolage* as an almost regular feature of operating drip systems.

Instance 2: Re-engineering drip irrigation systems to adapt them to local conditions

In the second instance of *bricolage* farmers went beyond operation and maintenance to start to physically modify their systems. Farm managers and labourers on the farms of the notables gradually adapted the system to their personal situation (knowledge, training) and to the farm structure (cropping systems, topography, who is irrigating). They removed certain components, and replaced others that regularly broke down, or did not function satisfactorily:

'when the company fitted the automatic system, I thought it would be easy to manage. Everything was programmed. The engineer had explained when and how to start irrigating. After a week, I noticed we were under-irrigating the crops. I contacted the company, but nobody came. We had to find a solution, as we had already lost some days of irrigation. I talked to my boss and suggested replacing the electric valves with manual ones so we could operate the system more easily, and replacing the automatic fertiliser dispenser by smaller manual ones to measure the quantity of the fertilizer more precisely'. (Driss, farm manager, aged 42)

Some medium-scale farmers had observed the advantages of drip irrigation (higher yields, better quality products), and installed it on their farms. These reference farmers, who were aiming for excellence, often had problems with the filter systems, which were not suited to local conditions, or to their farming practices. This was especially the case in the early days when irrigation companies did not have a large choice of equipment, and only offered standard solutions:

'In 1997, after one year of use, problems started. The tubing got clogged every time; I didn't understand why as I had a strainer filter. I asked the advice of a retailer nearby, who suggested I replace it by a disk filter. I didn't want to bother to go all the way to Casablanca, so I replaced it myself.' (Mostafa, farmer, aged 40)

He refers to the process by which he replaced the filter system as *bricolage*. Making use of the emerging local support sector (advisers, fitters, retailers, welders), he personalized his drip irrigation system, according to his needs.

Farmers are proud of their achievements, positively comparing them to the services provided by engineers:

'A year after installing drip irrigation, we noticed that the emitters got clogged after every irrigation round, even though the company had provided disk filters. I talked to the boss and suggested installing hydrocyclones, like the farmers of Agadir. We had them made by a welder nearby… and installed them ourselves… bricolage was necessary to obtain a good system. Just think about it, the company with all its engineers forgot to install hydrocyclones!' (Amine, farm manager, aged 45)

When some labourers who had previously worked on large farms decided to install drip irrigation on their own small-scale farms, they adapted the system to their physical and socio-economic constraints. Later on, these small innovators advised neighbours and friends about drip irrigation, and some even became fitters or retailers. Drip irrigation spread fast to large numbers of *small horticultural farmers*.

Three alternative types of drip irrigation systems progressively became available on the local market, installed by local fitters or farmers themselves. The first systems were incomplete, because farmers intentionally left out one or more of the 'regular' components. This mainly concerned the fertigation and filter systems. Some farmers replaced these with local low-cost alternatives; others simply decided to do without them as they considered them bothersome or too expensive.

Secondly, some *small horticultural farmers* opted for the so-called *roubiniyatte* or valve systems. This relatively cheap and simple system is composed of only the basic components: engine, pump, tubing and valves. In general, there is no filter system, and a very basic fertigation unit. The system is used for horticulture in small plots (1–3 ha), and is particularly suitable for plots where the ground is not even, as the different drip lines can be opened and closed according to the pressure available. Farmers who have problems of water shortage also used valve systems, as they can irrigate the different

parts of a plot one after another. However, these systems have a number of limitations (clogging of emitters, poor fertigation, labour requirements), and farmers consider it a transitory system. Having gained experience, many decide to purchase a more sophisticated system, which explains why only a minority of farms (two in our sample) use valve systems.

Thirdly, reference farmers and small innovators often first installed *mobile systems*. A mobile system comprises a pumping station, a fertigation unit and a filter system. The mainline pipe is not buried, so the farmer can move the system from place to place and irrigate different plots using the same equipment. Tenants or lessees also use this system. They are hesitant to invest in more permanent systems:

'I have a regular system on my own farm, and I could install it here myself. But what would happen if tomorrow my arrangement with the landowner breaks up? I could not take anything with me, not even the drip lines!' (Said, lessee, aged 60)

The mobile system is used on a minority of farms (only one in our sample). As with the valve system, it is generally abandoned after one or two irrigation seasons. It is not expensive, and a good system to 'learn the tricks of the trade' without many risks.

Instance 3: Integrating the subsidy procedures

The third *bricolage* instance involves producing systems and component parts that meet national standards in order to qualify for state subsidies (a scheme called PNEEI—National Programme of Irrigation Water Saving). The different categories of farmers, and the different local actors (fitters, retailers, advisers) quickly took up the opportunity offered by state subsidies, when in 2006 it was increased to 60% of the cost of a drip irrigation system (in 2010 it again increased to 80–100%). Previously, only the *notables*, and sometimes the *reference farmers* had applied for subsidies. Small-scale farmers considered that the gains to be had for their small surface areas did not compensate for the (cumbersome) procedures involved in applying for subsidies. With higher subsidies available, more farmers managing smaller farms have engaged with the subsidy scheme.

The Moroccan standards for equipment in the subsidy procedure were similar to those of the imported equipment, and all categories of farmers were increasingly interested in installing the complete drip irrigation system, after they had tried alternative systems. Interestingly, the local support sector had become sufficiently mature to propose locally manufactured equipment as part of the subsidized drip irrigation systems, although most of this equipment had not been tested or officially approved. However, the standards of the subsidy procedure clearly influenced local standards: hydrocyclones had to be red, with a better outside finish. Valves had to be orange, the colour used by a popular brand appreciated for its quality.

A FILTER SYSTEM CROSSING THE THREE INSTANCES OF *BRICOLAGE*

Another way of illustrating the *bricolage* types is to follow three transformations of a sand filter, important for cleaning the source water before it enters the drip lines and emitters. The town of Haj Kaddour is known as a centre for the purchase and repair of farm equipment, as well as a source of innovation. Welders set up in the area in the 1980s. Their main activity was repairing motor pumps for tubewells and tractor engines. One of the welders—Driss—a trained mechanical technician, did two years' apprenticeship with an established welder, learning how to repair pumps, engines and ploughs. When he opened his own shop in 1996, as he was very dynamic he quickly overtook his former master, gained a reputation for his skills and became the pioneer of different local inventions.

In 1998, during the first instance of *bricolage* when farmers had learned to work and maintain imported equipment, a well-known farmer belonging to the notables asked him to make him a hydrocyclone (sand filter), as he was not satisfied with the quality of imported hydrocyclones he used. To learn how to make a hydrocyclone, and to get the right dimensions, Driss bought an original filter in a neighbouring town. In his workshop he dismantled it. Using a newspaper, he measured the exact dimensions of all the components before making a cardboard pattern to cut the parts. He had purchased good quality sheet metal, as he did not want to disappoint his customer. The hydrocyclone he manufactured turned out to be stronger than the imported one:

'The farmer was very happy with it. He is still using it today. I did everything I could to make a high quality filter. He suggested I should make some hydrocyclones and put them on display. Two months later, two of his friends asked me to make them a filter each.' (Driss, welder, aged 40)

The first customers were large- and medium-scale farmers (*notables, reference farmers*). The welder paid a lot of attention to the rigidity of the sheet metal, and the satisfactory functioning of the filter. From 2000 on, there was a sharp increase in the demand for local fabrications. Farmers travelled 30–40 km to buy these hydrocyclones. At the time, only Driss manufactured them, making 30–40 filters a year. To cope with demand, he recruited young workers. The demand exploded in 2004, when farmers of all categories, including *small horticultural farmers*, equipped their systems with such filters. The area had clearly entered into the second instance of *bricolage* with different farmers adopting different types of drip irrigation systems, which had been physically modified and tailored to their needs.

From 2008 on, farmers had new requirements for locally manufactured hydrocyclones. Not only did the hydrocyclone have to work well, it also had to look like a professional piece of work, as these local filters were now integrated in the drip irrigation systems subsidized by the state. In addition to the rigidity of the filter, the farmers were strict about its finish and the visual quality of the hydrocyclone. The standards laid down in the national subsidy procedure were consequently applied locally, but local equipment

was also integrated into the subsidy procedure during the third instance of *bricolage*. When asked about the origin of the hydrocyclone he produces, Driss's proud answer is: *'I am the one who made the original.'* Even the profile of his customers changed. In addition to farmers, retailers and fitters came to add locally manufactured filters to their supplies.

FROM INTERNATIONAL TO LOCAL STANDARDS: TOWARDS A NEW STANDARDIZATION OF DRIP IRRIGATION EQUIPMENT?

In the second instance of *bricolage*, different alternative drip irrigation systems were designed and used. Once they had acquired some experience and, perhaps more importantly, when they had enough money, farmers progressively opted for systems that are referred to as *rasmi* systems, meaning 'regular' or 'complete' systems. While using alternative (and cheaper) drip irrigation systems, they learned the importance of the different components of a drip irrigation system. This concerned the filter system, due to frequent problems with clogged emitters, and the fertigation system, as they understood the importance of applying the exact amount of fertilizer and pesticide required evenly over the field. Ease of use was also important, as the valve system turned out to be labour-intensive. Farmers often started out with a simple drip irrigation system, stripped of its most costly components, and progressively improved it through what they refer to as *bricolage* until they had acquired a *rasmi* system.

Imported equipment, local adaptations and subsidy procedures have all influenced the local drip irrigation standards. The great majority (27/30 in our sample) of systems today are referred to as *rasmi*, and appear to be compatible with both official procedures and local requirements. Farmers assemble their systems, adapted to their specific requirements, combining imported, nationally manufactured, and locally made components, often installed by local fitters or by themselves, or in case of large-scale farmers, by irrigation companies: 'Today, when a farmer comes to see me, he already has his *rasmi* system in mind, and comes here to buy the spare parts or components he needs for his system' (Khalid, retailer, aged 40). *Rasmi* systems have most of the components of a standard drip irrigation system: pumping unit, filter unit, fertigation unit, a basin in the case of large-scale farmers. For all categories of farmers, the *rasmi* system has become the 'normal' system, i.e. the local standard. However, while at first sight the *rasmi* system may appear to be similar from one farmer to another, in reality it covers a wide range of modifications, as these systems cater to different physical and socio-economic requirements. 'Variations on a theme' through *bricolage* are probably the best way to describe it. In addition, contrary to the official standards, the local standard evolves continuously with changes in available equipment or new opportunities. In 2012, for instance, farmers irrigated rain-fed cereals by connecting sprinklers to their drip irrigation systems, despite the difference in pressure required by sprinkler and drip irrigation systems: *bricolage* saved the wheat harvest.

Rasmi can thus be read as a localization and flexibilization of formal standards for drip irrigation. ISO standards inspired the formulation of the 2007 Moroccan official standards (Laiti et *al*., 2005). These standards serve to test drip irrigation equipment that is imported or fabricated in Morocco and check if it conforms to Moroccan standards. Only equipment that conforms to these standards is eligible for subsidies. Yet, and interestingly, in actual practice these standards do not play a large role in installing or manufacturing equipment or in granting subsidies. Local administrators in charge of subsidy procedures adopt a flexible attitude, because they do not want to curb the current dynamism around drip irrigation. They believe that the standards will be progressively applied:

'In the subsidy procedure, we pay a lot of attention to the test reports of the tubing, and to the design study. As far as the other items, the meter, the filter system, are concerned we are less strict, as it is not clear yet. It is the beginning of the project.' (Mostafa, agricultural administration, aged 40)

This flexible attitude of local administrators is important for local creativity and *bricolage* to thrive, and thus partly explains the rapid spread of drip irrigation.

ACCEPTING *BRICOLAGE* AS A VALID PRACTICE

The general meaning of *bricolage* in French has a somewhat negative connotation. The dictionary qualifies it as nonprofessional activity, or as work that is not serious. Although most local actors (engineers, farmers, labourers, welders) frequently practise *bricolage* and refer to the term, they appreciate it differently and have given new (and sometimes) positive meanings to the term.

Many of the reference farmers refer to *bricolage* as something they did in the past, when they did not have the know-how or the means to operate and maintain a drip irrigation system:

'At the beginning, I used bricolage when I installed drip irrigation, it was mobile, and I equipped only part of the farm… I then changed the filter systems with the help of a local welder, until I had a rasmi system. Today, there is no room for bricolage in my farm.' (Ahmed, farmer, aged 40)

Farmers like Ahmed consider *bricolage* as something belonging to a less progressive and modern era; they are proud of the fact that they no longer practise *bricolage*.

Similarly, certain farmers (*notables, reference farmers*) use the term *bricolage* in a slightly demeaning way to denote what other—whom they consider as less progressive or advanced—farmers do. Ahmed, for instance, declares: *'Bricolage* is done by farmers who have *roubiniyatte* systems*.'* By associating *bricolage* with those farmers who (still) use valve systems, Ahmed distinguishes himself as better and more modern. Large-scale

farmers likewise are keen to disassociate their high-tech systems (and themselves) from *bricolage*. For them, *bricolage* denotes a deviation from the technical standards, from what is technically most advanced. Proud to show his automated drip irrigation system to the main author, an engineer, another farmer states: 'Come to my farm if you want to see real drip irrigation. The equipment you usually see is just *bricolage'* (Yacine, farmer, aged 60). Yet, even on the farms of the farmers who see *bricolage* as something negative, we observed adaptations of different components of the drip irrigation systems, often manufactured locally. Contrary to the farmers themselves, their farm managers and labourers refer to this as *bricolage*. They experienced that the original hightech systems were too complicated, and consequently adapted the equipment to make it more suitable for use.

A radically different view of *bricolage* can be observed among the (young) small horticultural farmers. They often use the term proudly, acknowledging it as an important part of their identity and daily life: 'Oh, you know, we practise *bricolage* all the time, and in all areas' (Younes, farmer, aged 30). *Bricolage* is what is needed to deal with change, and with domesticating the technique: '*Bricolage* helped me to obtain a modern drip irrigation system' (Omar, farmer, aged 37). It is very much linked to the technology: 'Before, when we used water from the canal, we could not practise *bricolage,* there were no valves' (Amine, farmer, aged 26). These young farmers use the term to indicate their technical prowess and their capacity to keep up with rapid changes. For them, *bricolage* is a sign of a modern, advanced way of doing agriculture, which is changing rapidly: 'We are obliged to develop our agriculture…when you practise *bricolage,* you advance your agriculture, and you can obtain drip irrigation' (Younes, farmer, aged 30). *Bricolage* is no longer only linked to drip irrigation, but to farming in general. Through *bricolage*, young people even manage to take control of the family farm, as the parents find it difficult to adapt to rapid changes. The use of the word *bricolage* marks a distinction between different generations of farmers. For older ones, agriculture is a noble and precious craft typified by continuity: 'We never practise *bricolage*, agriculture is sacred. It is in building and construction that people use *bricolage*' (Mohamed, farmer, aged 60). For them, *bricolage* is a pejorative term, denoting work that is not properly scheduled. When they talk about drip irrigation, they seem to know little about the expertise required by those who daily manage drip irrigation, generally their sons.

Interestingly, engineers have two ways of referring to *bricolage*. When we presented this study to engineering students, their reactions were telling: 'this is the problem of Morocco'. *Bricolage* for them was a synonym for amateurism, resulting in systems that deviate from technical specifications and norms. When we interviewed engineers working for consultancy firms, or irrigation companies in their offices, they echoed this view: 'we never practise *bricolage*, we do serious work here'. However, during discussions with them in the field, or when referring to concrete cases, engineers showed a different attitude. *Bricolage* was indispensable if one wanted to stay in business. These engineers collaborate with local fitters and retailers on the design and installation of drip irrigation equipment: 'We work more and more with local fitters, I

am obliged to practise *bricolage*. They are there, they know all the farmers' (Hassan, engineer, aged 42).

DISCUSSION

Bricolage as a creative process of learning and adaptation

In this study, we showed how *bricolage* changed users' context and the drip irrigation technology itself (and even its meaning), through a creative process of learning and adaptation. We described three instances of *bricolage*. Local users first learned how to make imported equipment work, then deconstructed drip irrigation systems and designed alternative low-cost systems, and finally selected and designed 'regular' systems. Local components found their way into the subsidized programmes, which, thanks to their flexibility, progressively incorporated local makes. In the process, different actors gradually learned about drip technology while adapting it to their own situation, calling on a support sector that could be termed part of a 'grey area'. Similarly, Vermillion (1989) considered the design process of irrigation systems interactive, admitting a 'double loop learning', which incorporates local knowledge at the system level, and permits the questioning of design criteria.

The distributed innovation agency of the drip irrigation community (farmers, fitters, welders, engineers) in this study bears a certain resemblance to the process of *bricolage* described by Garud and Karnøe (2003) on windmills in Denmark. Drip irrigation systems were adapted by a wide range of different actors, making them accessible to a wide range of users, and, in so doing, they simultaneously created local experience and expertise and increased the demand for drip irrigation. The flexibility of local administrators dealing with subsidy programmes was important, as they allowed incorporation of local fabrications in subsidized systems. This helped drip irrigation innovation to become embedded in the industrial process, with certain welders even evolving as major players.

Engineers as 'bricoleurs'?

The descriptions of *bricolage* and the fact that it involves so many different actors may seem to indicate that engineers, who are classically responsible for the design and installation of such high-tech equipment, are no longer necessary. Indeed, engineers when confronted with instances of *bricolage* relate this to unwanted and suboptimal deviations from the ideal and uniform design as expressed in international standards. Using Lévi-Strauss's concept of *bricolage*, Pascon (1973) suggested that once confronted with field realities, such as the drip irrigation systems described in this study, the engineer has two options. Either he adapts his ideal and scholarly models to field realities, and engages in a process that can be termed *bricolage*, or he continues to stick to official design procedures and norms. When choosing the first option, making do with whatever is available locally and designing systems that work, the engineers and their designs may be well received by end-users, but this is often a problem for his peers, i.e.

the engineering community. The second option will have the reverse effect: it will create sophisticated systems that do not work, but impose respect among peers. Similarly, Popper argued for a qualification of the work of engineers as 'piecemeal engineering' (the meaning of which comes close to *bricolage*), both to temper expectations about the transformational capacities of technology and to better appreciate what the actual work that engineers are involved in consists of (Popper, 1961).

Interestingly, our study shows that though engineers tend to regard *bricolage* negatively, the descriptions of Pascon and Popper do in fact apply to what many of them do in their day-to-day practices. Engineers have shown their ability to engage in *bricolage*, working with local fitters, farmers and farm labourers to make technologically advanced international equipment fit with local markets and fields. This is of course in line with more philosophical reflections on science and engineering, underlining the fact that *bricolage* is intrinsic to the actual practices of scientists and engineers (Derrida, 1978).

CONCLUSIONS

We have described instances of *bricolage* as practised by farmers and other actors when drip irrigation is being 'recontextualised' for a wide array of farms, ranging from large commercial farm enterprises to smaller farms in the Saiss (Morocco). We conclude that the term *bricolage* is an interesting way of capturing and explaining processes of technological change. Awareness of the existence of *bricolage* means acknowledging that these processes are not straightforward, linear and rational, with farmers gradually learning how to use a new technology according to the specifications (and standards) of engineers. It shows that, instead, innovation is a messy, largely unpredictable and creative process that consists of iterative interactions and negotiations between farmers, engineers and many other actors. This process may lead to new, dynamic and localized standards for the technology, while institutionalizing *bricolage*.

Understanding technological innovation as *bricolage* effectively draws attention away from the technology itself to the practices through which different actors mobilize ideas, materials and other actors to adjust the new technology to their specific situations and to make it work for them. Rather than taking the 'official' design as the norm against which those that have been the subject of *bricolage* are measured and judged, the concept of *bricolage* thus acknowledges that technologies always require modification and adaptation to make them usable in specific environmental and user contexts. As the examples described here suggest, doing this successfully requires both the engineer's specialized knowledge of crop–water–plan relations and ways to make water flow from one place to another and knowledge of the users' particular situations. *Bricolage* therefore entails and depends on (negotiated) alliances between engineers and farmers.

Processes of *bricolage* multiply the number of possible drip systems, with the specifics of the system depending both on the degree of familiarity of a farmer with the technology, and on the objectives the farmers wish to pursue by using it: save labour,

extend their irrigated land, increase yields or save water. The resulting variety of systems helps us to understand why drip irrigation can 'do' something different in each different context. Indeed, the fact that drip irrigation lends itself to many adjustments, the fact that it is variable and multiple, may well be a key factor explaining why it is spreading so fast and why so many farmers are enthusiastic about it.

ACKNOWLEDGEMENTS

The research was conducted in the framework of the DRiP project (Drip Irrigation Realities in Perspective), financed by the Netherlands Organization for Scientific Research (NWO), and of the Groundwater ARENA project (CEP S 11/09), financed by the French National Research Agency (ANR). We thank the anonymous reviewers for their helpful comments.

REFERENCES

Alter N. 2002. *Les logiques de l'innovation: approche pluridisciplinaire.* La Découverte: Paris; 274 pp.

Benouniche M, Kuper M, Poncet J, Hartani T, Hammani A. 2011. Quand les petites exploitations adoptent le goutte-à-goutte: initiatives locales et programmes étatiques dans le Gharb (Maroc). *Cahiers Agricultures* 20: 40–47.

Dedrick AR. 1986. International standards for irrigation and drainage equipment—why develop them. ASAE Paper No. 86–5525, presented at the 1986 Winter Meeting, Chicago, Ill.; 8 pp.

Derrida J. 1978. Structure, sign and play in the discourse of the human sciences. In *Writing and Difference*. University of Chicago: University of Chicago Press, Chicago; 278–294.

Garud R, Karnøe P. 2003. Bricolage versus breakthrough: distributed and embedded agency in technology entrepreneurship. *Research Policy* 32: 277–300.

Geels FW. 2004. From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research Policy* 22: 897–920.

Laiti A, Penadille Y, Chati T. 2005. Action des laboratoires d'essais dans le processus de modernisation des irrigations. In *Proceedings of the Seminar on Modernization of Irrigated Agriculture*, Rabat, Morocco, Hammani A, Kuper M, Debbarh A (eds).

Pascon P. 1973. Le technicien entre les bavures et le bricolage. *Hommes, Terre, Eaux* 8: 5–9.

Poncet J. 2010. Knowledge intermediaries in large-scale irrigation: the case of the Gharb irrigation scheme, Morocco. In *Innovation and Sustainable Development in Agriculture*

and Food 2010, Montpellier, France. Available at http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/51/25/24/PDF/ Poncet_les_intermA_diares.pdf

Popp H. 1984*. La question hydraulique: effets socio-géographiques de la politique des barrages au Maroc.* Université d'Erlangen-Nuremberg: Allemagne; 266 pp.

Popper K. 1961. *The Poverty of Historicism*. Routledge & Kegan Paul: London.

Solomon KH, Dedrick AR. 1995. Standards development for microirrigation. In *Proceedings of the 5th International Micro-Irrigation Congress*, Orlando, Fla, USA; 303–313.

Tabet A. 1972. Nouvelle technique d'arrosage: 'l'irrigation au goutte à goutte'. *Hommes, Terre, Eaux* 5: 45–53.

Vermeiren L, Jobling GA. 1983. *Localized irrigation*. Irrigation and Drainage Paper No. 36. FAO: Rome; 219 pp.

Vermillion DL. 1989. *Second approximations: unplanned farmer contributions to irrigation design*. ODI IIMl IrrigationManagement Network Paper 89/2c. Agency for International Development Library: Washington; 19 pp.

Chapitre 4 : Analyse des pratiques et logiques des agriculteurs pour expliquer la performance d'irrigation des systèmes au goutte à goutte

Ce chapitre a été publié sous forme d'article :
Benouniche M, Kuper M, Hammani A, Boesveld H. 2014. Making the user visible: analysing irrigation practices and farmers' logic to explain actual drip irrigation performance. *Irrigation Science* **32**(6): 405-420.

L'irrigation au goutte à goutte est promue de par le monde pour sa capacité d'améliorer la productivité de l'eau (Luquet et al., 2005). Ceci est basé d'abord sur l'affirmation que l'irrigation au goutte à goutte est beaucoup plus efficiente, avec une efficience théorique pouvant atteindre 90 à 95% (Pénadille, 1998) comparée aux autres techniques d'irrigation tels que le gravitaire ou l'irrigation par aspersion. Moins d'eau est perdue dans le transport, et l'eau est appliquée directement au pied de la plante, économisant ainsi de l'eau l'irrigation. Deuxièmement, l'irrigation au goutte à goutte permet une distribution plus uniforme de l'eau à travers le champ (c'est à dire toutes les plantes reçoivent presque la même quantité d'eau) et facilite l'application de l'eau (facilité d'utilisation, une fréquence plus élevée d'irrigation) (Ayars et al, 2006), ce qui améliore le rendement des cultures (Wu et Gitlin 1983 ; Wang et al, 2013). Au Maroc, le programme national d'économie d'eau en irrigation (PNEEI) prévoit une amélioration de l'efficience d'irrigation à la parcelle - de 50% en irrigation gravitaire vers 90% en irrigation localisée - pour économiser 826 millions de m^3/an. Nous avons alors procédé à une série de mesures de performances d'irrigation afin de vérifier si cette efficience théorique se matérialise sur le terrain quand la technologie interagit avec les acteurs locaux et son environnement physique (nature des sols, pente des parcelles) et socio-économique (orientations de l'exploitation agricole, par exemple). Ainsi, nous avons développé une méthodologie pour mettre en relation les performances d'irrigation mesurées en conditions réelles et les pratiques et logiques des utilisateurs. Nous postulons que les performances d'irrigation ne dépendent pas uniquement des caractéristiques techniques du goutte à goutte, mais dépendent surtout de ce que les utilisateurs font du goutte à goutte. En effet, ce sont eux qui déterminent la performance d'irrigation du goutte à goutte, par leurs pratiques d'irrigation liées à leurs logiques et attentes dans l'utilisation du goutte à goutte.

A travers ce chapitre, nous allons contribuer aux débats scientifiques autours des performances d'irrigation liées au goutte à goutte. En effet, nous avons développé une approche méthodologique originale pour déterminer les performances d'irrigation *in situ* et expliquer la diversité des performances d'irrigation mesurées sur le terrain. Nous considérons l'utilisateur comme acteur principal responsable des performances d'irrigation. Mettre l'utilisateur au centre des débats scientifiques autour de la question d'économie d'eau permettrait de le rendre plus visible, et par conséquent, conduirait à

une évaluation plus réaliste des performances d'irrigation et attirerait l'attention des décideurs politiques sur les conditions réelles dans lesquelles l'irrigation au goutte à goutte est utilisée sur le terrain.

Dans ce chapitre nous présentons en premier les résultats de mesures de performances d'irrigation, à travers deux indicateurs : l'efficience d'irrigation (EI) et le coefficient d'uniformité (CU). Nous analysons en deuxième lieu les pratiques d'irrigation et on termine par déterminer les logiques des utilisateurs responsables de l'utilisation du goutte à goutte.

Making the user visible: analysing irrigation practices and farmers' logic to explain actual drip irrigation performance

Maya Benouniche[a,b], Marcel Kuper[a,b], Ali Hammani[b], Harm Boesveld[c]

[a]CIRAD, UMR G-EAU, F-34398 Montpellier, France
[b]Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc
[c]Water Resources Management, Environmental Science Group, Wageningen University, The Netherlands

Corresponding author: Maya Benouniche
+212 6 24 51 46 31
Irrigation Science: Volume 32, Issue 6 (2014), Page 405-420

Abstract

The actual performance of drip irrigation (irrigation efficiency, distribution uniformity) in the field is often quite different from that obtained in experimental stations. We developed an approach to explain the actual irrigation performance of drip irrigation systems by linking measured performances to farmers' irrigation practices, and these practices to the underlying logic of farmers who operate these systems. This approach was applied to 22 farms in Morocco. Four sets of variables helped explain the gap between the actual irrigation performance and the performance obtained in experimental conditions: 1) farmers have agro-economic motivations, or want to improve their social status, and for them, irrigation performance is at best an intermediate objective. 2) Irrigation performance is not a static value, but a rapidly evolving process, related to the (perceived) ability of farmers to change irrigation practices, and renew irrigation equipment, but also to farmers' aspirations. 3) The social network of farmers, supporting the introduction and use of drip irrigation, determines how farmers may share experience, information, and know-how related to drip irrigation. 4) Today, there is no social pressure to irrigate carefully to save water; only the state explicitly links the use of drip irrigation to saving water. Making the drip user visible in research and policy studies would lead to more realistic assessments of irrigation performance, and draw the attention of policy makers to the actual conditions in which drip irrigation is used, and as a consequence help incorporate 'saving water' as an objective for drip irrigation users.

Key words
irrigation; performance; irrigation practices; drip; users; Morocco

1. Introduction

Drip irrigation is widely promoted as a way of improving water productivity (Luquet et al. 2005). This is based firstly on the assertion that drip irrigation is much more efficient than other irrigation techniques such as furrow or sprinkler irrigation. Less water is lost in conveyance, and water is applied directly in the immediate vicinity of the plant, thereby saving water. Secondly, drip irrigation allows more uniform distribution of water across the field (i.e. all plants receive almost the same quantity of water), and facilitates the application of water (ease of use, higher irrigation frequency), thereby improving crop yields (Wu and Gitlin 1983; Wang et al. 2013). Since drip irrigation is almost invariably associated with the application of nutrients (fertigation), these systems also allow better nutrient management. This led certain authors to claim that drip irrigation may double or triple the water productivity (Postel, 2000; Gleick, 2002). However, recent papers are more cautious about water efficiency claims of drip irrigation, and pinpointed the fact that the claimed impacts of this technology are rarely compared with actual practice (Lankford, 2012; van der Kooij et al. 2013). Other authors point to potentially negative effects of drip irrigation on the environment (salinization, groundwater pollution), when drip irrigation systems and irrigation practices are not tailored to their environment (Cote et al. 2003). Another line of criticism relates to the scale at which water productivity is measured. While drip irrigation systems may save water at the plot level, this may not be the case at the basin level, where water that is lost in one location is used in another (Molden et al. 2003; van Halsema and Vincent, 2012). We argue in this paper that even at the plot level, the use of drip irrigation may not lead to water saving.

Generally, the "goodness" of irrigation performance is related to two types of indicators: irrigation efficiency, and the uniform distribution of water throughout the plot (Burt et al. 1997). Many indicators related to the two terms were developed to determine irrigation performance (Burt et al. 1997). These were mostly applied to irrigation systems in experimental stations to test the technical parameters of drip irrigation (e.g. hydraulic properties of drippers) (Camp et al. 1997; van der Kooij et al. 2013). However, in farmers' fields, irrigation performance depends not only on the technical standards of irrigation equipment, but also on farmers' irrigation practices, as well as on the maintenance of the equipment (Tanji and Keyes 2002; Luquet et al. 2005). Wolf et al. (1995) demonstrated in Jordan, that the efficiency of drip irrigation was even lower than the efficiency of surface irrigation due to poor maintenance, inadequate use of equipment, and poor irrigation practices. Slatni et al. (2004) reported similar findings in the case of Tunisia. In this paper we argue that irrigation practices depend, in turn, on the larger objectives and constraints of farmers. This may explain the wide range of hydraulic performance reported in the rare studies carried out in real-life settings (Wolf et al. 1995; Vidal et al. 2001). The actual irrigation performance of drip irrigation systems is an important issue, as it will determine both the real water savings and the final agricultural production that will ultimately be obtained.

Leeuwis and van den Ban (2004) proposed a model to understand the social nature and the logic underlying farmers' (technical) practices. This logic is determined by variables related to the perceived (technical, economic, social) consequences of changing practices and their assessment by individual farmers, farmers' perceived ability to carry out these (changes in) practices in the long run, the wider social environment that will support (or not) such practices, and perceived social relationships and pressure. This model was applied to different case studies, one example being soil fertility management practices (Adjei-Nsiah et al. 2004).

We hypothesized that the indicators proposed in the literature are useful to qualify the performance of drip irrigation, but insufficient to analyze the reasons for the differences and dynamics in the actual irrigation performance in the field. In the present study, we developed and tested an approach to explain the performance of drip irrigation systems observed in the field, by linking measured performances to farmers' actual irrigation practices, and to the underlying logic of farmers who own and/or operate these systems. This work answers calls of different authors, who advocated applying multidisciplinary approaches for a sound comprehension of irrigation performance (van Schilfgaarde, 1994; Tanji and Keyes, 2002; van der Kooij et al. 2013).

2. Methodology

2.1 Study area

The study area is located in the Saiss plain between the cities of Meknes and Fes in northwest Morocco, which is a rich agricultural area (Berriane, 2002). The farms are located in the vicinity of the small town of Ain Taoujdat. In the past, the farming systems in the Saiss were characterized by rain fed agriculture (cereals, vineyards), and by some irrigated crops (tobacco, orchards, horticulture) in a number of small irrigation schemes irrigated by springs. Due to the droughts that occurred in the 1980s and the arrival of investors, farmers progressively, but massively turned to the use of groundwater through individual wells and tube wells. The river basin agency estimates the current irrigated area to be 37,000 ha, of which 25,000 ha are irrigated by groundwater through more than 12,000 individual (tube)wells, most of which are not officially registered. Access to groundwater led to a sharp increase in the area under orchards (42% of the irrigated area) and horticulture (35%). According to the river basin agency, a little over half of the irrigated area is now irrigated by drip irrigation. This figure probably applies only to the area irrigated by groundwater, as so far, drip irrigation is not used on a large scale in the small-scale gravity irrigation schemes. There is an increasing pressure on groundwater resources in the Saiss, and it is often claimed that drip irrigation may reduce the volume of water used for agriculture through higher irrigation efficiency at the plot level. This prompted us to investigate the irrigation performance of drip irrigation systems in farmer's fields.

We conducted our study in the 2011 irrigation season (March to October) on 22 drip irrigation systems in horticultural plots on 22 Moroccan farms, representative of the diversity of horticultural farms in the area. We first conducted an exploratory study on the different farm types, and drip irrigation systems in the area. We then used different criteria to select the farms and plots, using a stratified random sample approach (table 1). Firstly, only horticultural plots were selected (onion, potatoes, and seed potatoes), so we would be able to compare irrigation practices; irrigation of fruit orchards is different (larger plots, year round irrigation), and so we excluded orchards from this study. Secondly, we selected a wide range of farms, in terms of size (from 1 ha to 120 ha; table 1), as we hypothesized that farm size had an impact on the choice and quality of the irrigation equipment (as large-scale farms have more financial means), and on irrigation practices (larger plots, fewer financial constraints for larger farms). Thirdly, we used the installation date to select irrigation equipment of different age, hypothesizing that older equipment would have a lower irrigation performance (table 1). The access to water on the vast majority of farms is provided by wells of about 35-45 m depth. The flow rate of these wells ranges from 4-8 l/s. The cost of a fully equipped well (excavation cost, pump, engine) of 40 m ranged from 4,400 to 6,200 euros. Only, the large-scale farmers in this area had tubewells of more than 85 m depth, generally with a flow rate of 7-8 l/s. The cost of a fully equipped tubewell (drilling cost, pump, engine) with a depth of 100 m ranged from 5,000 to 9,600 euros. The cost of a drip irrigation system ranged from 2,500 to 4,500 €/ha, depending on the quality of the installation, and the components of a particular drip irrigation system (Ameur et al, 2013).

These costs can be compared with the gains obtained by farmers from, for instance, the production of onions. According to a recent economic study in the area on the onion sub-sector, the price at a nearby wholesale market ranged from 0.1-0.8 €/kg during the period 2008-2012 (Courilleau and Lejars, 2013). Farmers share the gains with a large number of intermediaries, which take charge of the harvest and post-harvest handling. Depending on the price, but also the yields obtained (generally 80-120 tons/ha), farmers obtain margins in the range of -10 to +100 €/ton (Courilleau and Lejars, 2013). In theory, it takes thus one excellent cropping season (high yields, high prices) for a farmer to pay back his irrigation equipment. However, the risks are high, and farmers generally state "*one year we win, one year we lose*".

In a previous survey in Morocco, we had observed differences in equipment, such as the absence of filter systems (Benouniche et al. 2011). We, therefore, described the drip irrigation equipment in detail for each farm, as we hypothesized that these differences could explain part of the irrigation performance.

2.2 Research approach

Following the objectives of this study, we measured the irrigation performance at the plot level, observed the irrigation practices of farmers and labourers, and finally we analyzed the underlying logic of farmers operating the drip irrigation systems.

We used two classic indicators to measure irrigation performance at the plot level; *irrigation efficiency* (IE) and *the uniformity of water distribution* (DU). We determined the irrigation efficiency, following Burt et al. (1997), who considered that "at the heart of any consideration of irrigation performance is an irrigation-water balance and determination of the fate of various fractions of the total irrigation water applied". This indicator is, therefore, an interesting way of analyzing farmers' irrigation practices. The distribution uniformity is a standard indicator for irrigation, and even more so for drip irrigation which aims specifically at attaining high distribution uniformity in a specific plot, i.e. greater than 90% (Keller and Karmeli, 1974; Burt et al. 1997). Keller and Karmeli (1974) specify that high distribution uniformity is achieved with "precision manufacturing, sufficient filtering to eliminate clogging and uniform topography". By inversing this argument, we argue that the measurement of the actual DU in field conditions – our hypothesis being that actual values of DU will be considerably different from the projected 90% - will provide interesting information on the actual state of the equipment, and thus on operational and maintenance practice (e.g. cleaning of filters, renewing tubing), and on the design of the drip irrigation systems with respect to field conditions (e.g. topography).

Irrigation efficiency (IE) is generally linked to "fractions of the irrigation water volume that are destined for certain functions", including transpiration, evaporation, infiltration etc., (Burt et al. 1997). But it is also important to establish the spatial scale at which IE is measured. In our case, IE was defined as the ratio between the volume delivered at the entry of the plot, and the net irrigation water requirements (i.e., according to the FAO, the difference between crop evapotranspiration and effective precipitation), both expressed in mm. Evapotranspiration was calculated using the FAO CropWat package, and climatic data from weather stations located in the immediate vicinity of the farms (rainfall data came from Ain Taoujdate, all the other parameters came from Meknes synoptic station). The exact sowing and harvesting dates were recorded for each plot, and the soil types were defined after analysis in a soil laboratory. The soils were generally medium-textured soils (table 1). The volume of water delivered to the plots was determined by measuring the discharge during the irrigation season, and by checking the irrigation calendar with the farmers during interviews. We cross-checked the information they gave us through regular visits to their plots during the irrigation season. This enabled us to detect exceptions to the (regular) irrigation schedule. We measured *the uniformity of water distribution* to the entire field through water distribution uniformity (DU), which Pereira et al. (2002) defined as the "ratio among the average infiltrated depths in the low quarter of the field and in the entire field, both expressed in mm." In each plot, we measured three times the discharge of 16 drippers equally spaced from head to tail along four different lateral lines (Keller and Karmeli, 1974).

Regular visits to the plots enabled us to observe farmers' practices, both concerning irrigation itself and maintenance of the irrigation equipment. To this end, we used a checklist (who irrigates when? Who monitors the irrigation performance, and how? What maintenance is undertaken, by whom? etc.). While we took the utmost care to record the exact timing of irrigation for each plot in our sample, the (field) conditions of measurements were certainly not as good as in an experimental station. The crop yields were estimated based on interviews with the sample farmers, and crosschecked with a broker in our study area, involved essentially in facilitating the selling and buying of onions and potatoes. These yields do not depend solely on irrigation practices, but also on agricultural practices. However, we checked the impact of irrigation practices on water stress and consequently on crop yields for some selected farms using the CropWat package.

The logic underlying the choice and use of drip irrigation equipment (farmers' practices) was determined during semi-structured interviews using an analytical grid (decision and motivation for installing drip irrigation, how the equipment was installed, any adaptations made to the drip system, irrigation practices, maintenance, repairs, etc.), crosschecked by direct field observations. This enabled us to identify categories of farmers with a different logic regarding the use of drip irrigation, by combining the measured performance of the irrigation systems with the insights obtained on irrigation practices through observations and interviews, using an iterative approach. This classification helped explain farmers' practices, and the wider logic of farmers concerning farming, but also the actual irrigation performance of drip irrigation systems.

We then regrouped the selected farmers in six groups, based on the results of the irrigation performance as measured, on the irrigation practices observed and on the logic of farmers. The first group (A) is composed of the large landholders in the region (three farmers in our sample). Their farms are more than 100 ha in size, and they practise four different farming systems: orchards, horticulture, livestock, and cereals. In addition to the land they own, these farmers rent in several plots, which are then farmed by small-scale farmers on a tenant basis. The second group represents medium-sized farmers (10-15 ha; three in our sample), which we called reference farmers (B), as their agricultural and irrigation practices are keenly observed and followed by the majority of farmers (those from our sample, but more generally most farmers in the study area). This group of horticultural farmers specialize in the production of onions and potatoes. The third group represent the small innovators (C1) who may be owners or tenants (two farmers in our sample). This is a group of small-scale horticultural farmers (potatoes, onions), who were amongst the first to introduce drip irrigation on small-scale farms. The learners (C2) are composed of farmers who are either isolated or only recently started drip irrigation (two in our sample); they have less than 5 ha and grow onions and potatoes. This is basically a transitory group. The young small-scale horticultural farmers (D) may be owners, tenants, or lessees; they have less than 10 ha

(nine farmers in our sample) who grow potatoes and onions. This is certainly the largest group of farmers in the study area practising drip irrigation on horticulture, as drip irrigation is associated to 'modern' farming, and such farmers may obtain access to land through informal lease agreements. The last group represents the part-time small-scale horticultural farmers (D'), who have many off-farm activities (three in our sample). These farmers have less than 5 ha and grow onions and potatoes.

Table 1. Characteristics of the different groups of sample farms and sample plots.

Group	Farm size (ha)	Number of (tube)wells*	Crop on study plot	Plot size (ha)	Soil type	Year of installation of drip irrigation system
Large landholders (A)	120	3W, 1T	Potato	2.5	Loam	2001
	100	3W, 1T	Potato	2.5	Loam	2004
	120	4W, 1T	Potato	2.0	Loam	2007
Reference farmers (B)	14	3	Potato	7.0	Loam	1999
	10	3	Onion	4.0	Loam	2003
	12	3	Potato	6.0	Loam	2003
Small innovators (C1)	1.0	1	Potato	1.0	Loam	2006
	3.0	4**	Potato	2.0	Loam	2008
Learners (C2)	2.5	1	Potato	2.5	Sandy Loam	2006
	2.0	1	Potato	2.0	Loam	2006
Young horticultural farmers (D)	1.3	1	Onion	1.3	Sandy Loam	2010
	6.8	1	Potato	4.0	Sandy Loam	2008
	2.0	1	Potato	2.0	Loam	2008
	2.0	1	Potato	2.0	Sandy Loam	2006
	4.0	1	Onion	4.0	Loam	2008
	5.4	1	Onion	1.5	Silt Loam	2010
	6.0	1	Onion	4.0	Silt Loam	2008
	2.0	1	Onion	2.0	Sandy Loam	2008
	1.5	1	Potato	1.5	Sandy Loam	2010
Part-time farmers (D')	3	1	Onion	3.0	Loam	2005
	2.5	1	Onion	2.5	Loam	2000
	3.5	1	Onion	2.5	Sandy Loam	2009

*W= wells, T= tubewell

** This farmer rented about 100 ha of land from other farmers, which explains the need for 4 wells.

3. Results

We first looked at the irrigation performance at the plot level, and then studied the irrigation practices of farmers in order to explain the wide range of performance observed. We then analyzed the underlying logic of farmers who operate the drip irrigation systems. We used the classification of farmers' groups developed in the previous section for the presentation of the results.

3.1 Drip irrigation performance

We measured distribution uniformity and irrigation efficiency of drip irrigation systems in 22 plots for onions and potatoes (table 2). The actual irrigation performance in farmers' fields, determined here through two indicators (irrigation efficiency, and distribution uniformity), was shown to be very heterogeneous. We found a large variability in the irrigation performance with coefficients of variation of IE and DU of 34% and 37%, respectively. This indicated a strong influence of farmers' practices on irrigation performance (Lorite et al. 2004). This was linked to quite generous irrigation supplies, contrasting with the water saving image of drip irrigation, and to problems of bringing the same quantities of water across the farm plots, pointing to problems of design or maintenance of drip irrigation systems.

Irrigation efficiency

Perhaps surprisingly, the vast majority of the farmers over-irrigated their plots (table 2). The farmers of groups C1 (small innovators) and C2 (learners) applied 2-4 times the amount of water required by the crop, but even the farmers of groups A (large landholders) and B (reference farmers) applied 25% to 75% too much water. The farmers of group D were shown to irrigate the closest to the calculated irrigation water requirements. Five farmers were within 10% of the required irrigation water requirements. There are two main reasons for the very high volumes applied. Firstly, some farmers were trying to compensate for the poor distribution uniformity of their irrigation systems by applying more water. This was especially the case for the large landholders and the learners. Secondly, some farmers who had drip irrigation systems with good distribution uniformity (for example, the reference farmers) applied more water in an effort to obtain good yields. They allowed a (large) safety margin because they wanted to be sure that whatever happened, their crop would not suffer from water stress. Their soils were well-drained, and while over-irrigation would not increase their yields, too much irrigation water would not affect their yields adversely either. Finally, among the farmers who aimed for high yields, but who had problems with their equipment (low DUs), two applied more water for the two above reasons combined.

Distribution uniformity

There was a wide range in the distribution uniformity measured (table 2). Reference farmers (B) and young horticultural farmers (D) registered fairly good distribution uniformities, considering that they were measured for field conditions. Six irrigation systems of groups B and D had a DU of between 80% and 90%, which can be considered

as reasonably good, even though in this case cleaning of the system is generally recommended as there may be problems of clogging (Pénadille, 1998). These systems were installed between 1998 and 2008, but had been well maintained by farmers (daily maintenance, but also replacement of faulty equipment), as these farmers consider drip irrigation is a way to achieve good yields. Only one irrigation system had more than 90% distribution uniformity, which is generally considered to be excellent (Keller and Karmeli, 1974[7]). This was a recent system, installed in 2010 by a local fitter, who happened to be the uncle of the farmer concerned and is reputed in the region as a good fitter with a great experience in installing drip irrigation. In addition, we observed that the farmer undertook maintenance daily (checking the condition of the drip tubing and cleaning the filters). The remaining 15 drip irrigation systems had a much poorer DU (average 51%), registered for all the drip irrigation systems of the large landholders (A), as well as for the small innovators (C1), the learners (C2), the part-time farmers (D'), but also in a minority of the young horticultural farmers (D). Three systems even had a DU of between 12% and 30%, two belonged to the large landholders and one to a part-time farmer. These systems were installed between 1999 and 2010 (table 2). Consequently, the age of the systems is not decisive in explaining the differences in DU observed, contrary to our initial hypothesis.

[7] Official Moroccan standards (2007) also refer to these authors, when they advise that drip irrigation equipment should guarantee a DU of 90%.

Table 2. Irrigation performance (irrigation efficiency, distribution uniformity), and yields obtained by different sample farmers on 22 plots, as compared to the irrigation practices and the characteristics of the drip irrigation systems of different farmers' groups.

Groups	Practices	Drip irrigation system	Irrigation Efficiency (%)	Distribution Uniformity (%)	Yield (T/ha)
Large landholders (A)	-Irrigation & maintenance done by labourers -Weak maintenance, little renewal of irrigation equipment	-Complete system*; damaged tubing	57 66 46	55 30 12	40 45 40
Reference farmers (B)	-Irrigation & maintenance done by labourers; close monitoring by farmer -Daily maintenance of irrigation equipment -Frequent renewal of irrigation equipment	-Complete system	51 61 57	88 89 73	70 90 60
Small innovators (C1)	-Irrigation & maintenance done by farmer **-Cleaning of drip irrigation systems at beginning of season** -Little interest in daily maintenance & renewal of irrigation equipment	-System with valves; no filter system, basic fertigation unit -Mobile system** -Damaged tubing	36 25	73 55	60 55
Learners (C2)	-Irrigation and maintenance done by farmer -Little experience in drip irrigation -Cleaning of irrigation systems at beginning of season -Very little interest in daily maintenance & renewal of irrigation equipment	- System with valves; without filter system & fertigation unit - Complete system; damaged tubing	31 39	43 44	50 56
Young horticultural farmers (D)	- Irrigation & maintenance done by farmer - Cleaning of drip irrigation systems at beginning of season - Particular attention to daily maintenance of drip irrigation equipment (tubing, cleaning of filters) -Frequent renewal of equipment -Gradual upgrading of equipment	-Complete system -Incomplete system without filter system, and/or fertigation unit	90 94 92 97 80 78 80 65 107	93 88 86 82 86 78 72 73 77	60 40 45 50 50 55 70 60 45
Part-time farmers (D')	-Irrigation and maintenance done by farmer or labourers -Very little interest in daily maintenance of drip irrigation equipment and renewal of equipment	-Complete system; damaged tubing -Incomplete system without filter system; damaged tubing	79 85 67	49 45 20	50 57 60

* A 'complete' drip irrigation system refers to a system having the following components: a pump, filters, fertigation unit, main line, laterals, and drippers. None of the systems dispose of a water meter or a pressure regulator.
** The second small innovator is a lessee, and uses a mobile drip irrigation system. In case of a problem with the landowner, he can remove the system and fit it on another plot.

Four main problems may explain the poor DUs. Firstly, some of the irrigation systems had design problems, especially in the case of undulating land, leading to differences in pressure in the system. In the absence of pressure-compensating drippers, these pressure differences would lead to differences in discharge. Some farmers (1 small innovator, 1 learner) installed systems with multiple valves for different irrigation blocks in order to deal with this problem. However, the measured values of DU remain poor (73 and 43%, respectively; table 2). Secondly, in some of these systems (3) the filter system was incomplete (table 2). Either there was only a sand filter, but no disk filter, or there was no filter at all, leading to clogging of emitters. The absence of filters can be explained by the lack of means of some small-scale farmers, but most often by the fact that some farmers simply do not see the point of having such filter systems, mostly in the case of learners. When the farmers become aware of clogging of emitters, they try to remedy the problem with acid, but also evolve gradually towards more complete drip irrigation systems, especially the young horticultural farmers (table 2). Thirdly, there was a general problem to adequately maintain the drip irrigation systems. Either the owner was occupied elsewhere (the case of the part-time farmers), or irrigation was performed by labourers (for instance in the case of the large landholders; table 2), for whom daily maintenance may be tedious, especially on large farms, and lack of maintenance does not necessarily have immediate (visible) consequences, but can gradually reduce distribution uniformity. Fourthly, a small number of farmers did not replace faulty equipment (perforated tubing, filter systems) in time (table 2). This was mostly the case of bigger land lords, who received subsidies for the purchase of their equipment, or farmers who are mostly absent (part-time farmers; table 2) or may even envisage abandoning a particular plot.

3.2 Farmers' irrigation practices

The premise of the paper is that farmers' irrigation practices do not necessarily target "perfect" irrigation in the sense hoped by engineers. Overall, most farmers over-irrigated, but on many plots we observed periods of under-irrigation (water stress), which suggests that the irrigation schedules have scope for improvement to better match crop water demand and water application. Our observations revealed that the farmers' irrigation practices were linked to i. the way farmers perceive the impact of irrigation on yields, ii. the quality of the irrigation equipment, and iii. constraints on access to water.

Over-irrigation to achieve optimal yields

The reference farmers (B) aimed to achieve optimal horticultural yields, and generally over-irrigated to ensure the plants would not suffer from water stress. Table 2 shows

that these farmers obtained the best yields of the sample farmers, i.e. 60-70 T/ha for potatoes and up to 90 T/ha for onions. In the study area, it is generally considered that the maximum yield for potatoes is around 80 T/ha, and for onions up to 120 T/ha. The reference farmers invested in several wells, and had sufficient capacity to deliver water to all their plots, even during summer. They installed drip irrigation to be able to supply enough water to all their plants. For such farmers, the cost of irrigation is relatively low compared to the revenues generated by horticulture, and they did not consider it a problem to provide 2-3 times the volume of water required, as long as problems of drainage would not affect their agricultural production.

This was the case for Fatima, who grew horticultural crops on her 10 ha farm, and had three inter-connected wells. Her objective was clearly to obtain excellent yields, as confirmed by the labourer in charge of irrigation on her farm: "*To be competitive on the market, you need to have very good yields, and most of all, good quality products. To achieve this, you need to irrigate well. From the month of June onwards, we increase the irrigation volume to be sure of obtaining good calibre vegetables and excellent yields*" (Mohamed, 30 years old, 2011). This is how Fatima obtained a yield of 90 tons per ha on the sample plot (onions), which was the highest yield obtained amongst the sample farmers (table 2).

Since there were no water constraints on her farm, and Fatima's equipment was well maintained (DU=89%), in June, irrigation frequency was increased from once a week to every second day, and the volume increased from 10.7 mm to 64 mm per week. On one plot of onions, a total volume of 757 mm was applied, representing 1.64 times net water requirements (figure 1).

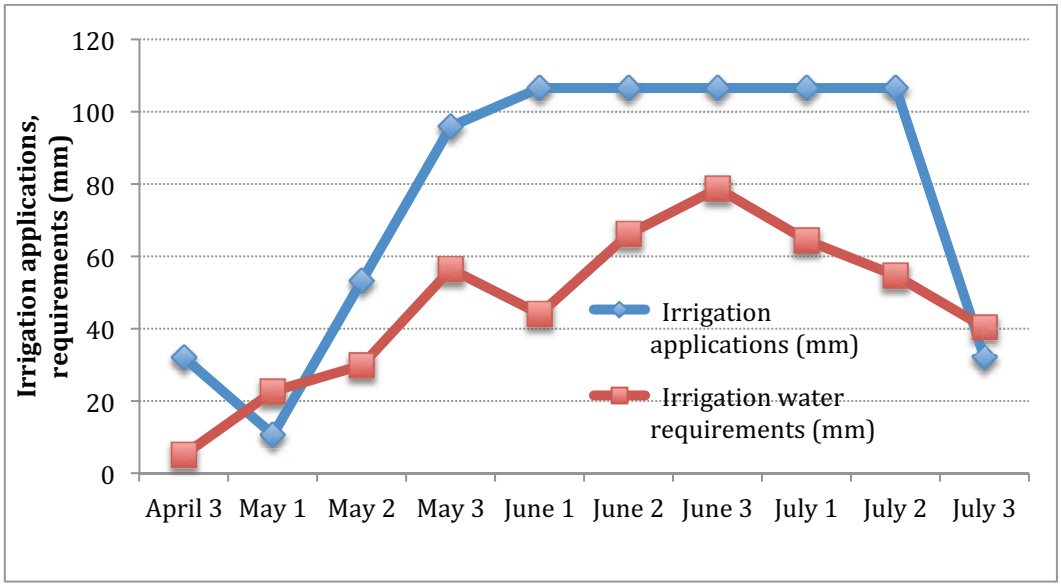

Figure 1 Irrigation volumes compared to net irrigation water requirements (both in mm) on a plot of onions on Fatima's farm

Over-irrigation to compensate for poor quality installations

To obtain reasonable yields, the large landholders (A), small innovators (C1), learners (C2) and part-time farmers (D') compensate for poor quality equipment (see table 2) by over-irrigating. Contrary to our expectations, this generally did not concern only the small-scale farmers, our hypothesis being that they would lack the means to invest in good quality equipment. Instead it concerned mainly the large landholders, which delegated irrigation and maintenance to labourers, and were rarely present in the field to monitor irrigation performance. This was the case of Yacine, whose equipment had very poor distribution uniformity (12%), and who applied 217% of net irrigation water requirements in order to ensure a yield of 40 tons per ha of potato, which is considered half of the maximum yield recorded in the region (table 2).

However, we observed periods of under-irrigation

Even though, when we checked the total irrigation volumes over an agricultural season, we noted that almost all of the farmers over-irrigated, our observations also revealed the existence of periods when farmers underestimated irrigation requirements. This was the case for most of the young horticultural farmers (D) and the part-time farmers (D'). In the case of onions, these farmers obtained 50-70 tons per ha (with an average of 58 tons per ha), which was 25-45% less than the best yield obtained by one of the reference farmers (table 2). However, even the reference farmers (B) were shown to under-irrigate at times. In the case of Fatima (fig. 1), we calculated a very mild water stress in the development stage of the crop, leading to a calculated yield reduction of 0.7% on the sample plot (loam).

For most farmers of the other categories, these periods of under-irrigation were even more pronounced. Monim, one of the young horticultural farmers (D), applied a total volume of 713 mm to his onion crop, 25% more than irrigation water requirements on his sample plot (loam). However, in April-May he under-irrigated (compared to net irrigation water requirements), as he believed the onion plants did not yet require much water (figure 2). He attributed this both to the size of the (young) plants, and to the climatic conditions (relatively cold). For Monim, the true irrigation season had not yet started. However, a comparison with the net water requirements revealed that insufficient irrigation water was applied at times, leading to water stress in the development- and mid-stages of the crop, and in turn, to a calculated yield reduction of 11,5%.

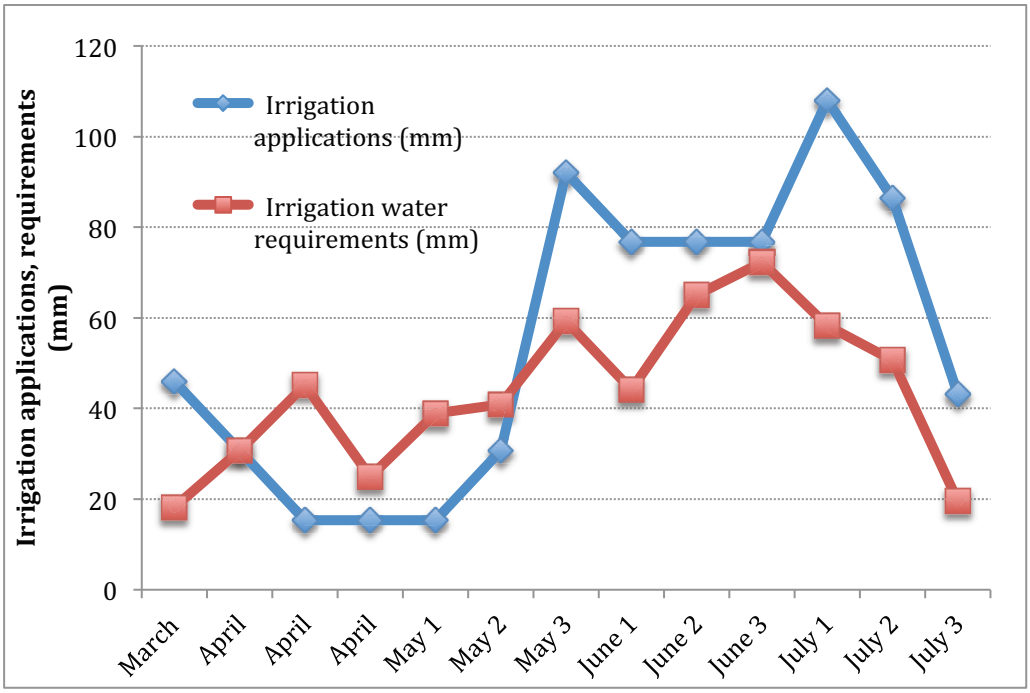

Figure 2 Irrigation applications compared to net irrigation water requirements (both in mm) on a plot of onions on Monim's farm

This phenomenon concerned most farmers. They underestimated irrigation water requirements at the beginning of the season. From May, they increased irrigation frequency and volumes in order to obtain good yields, but also to compensate for the problems they had with the hydraulic performance of their drip systems (poor DUs).

In some cases, the irrigation practices were constrained by access to water

Even in the case of groundwater irrigation with private wells, it is important to take water availability into account to explain irrigation practices. Five farms had water constrains and farmers could not irrigate the entire plot according to the crop water requirements, especially during the summer months during peak crop water requirements. These farmers (all large landholders and two farms belonging to young horticultural farmers) had a problem of well capacity. At these farms the continuous flow, based on the number of wells, well capacity and surface of irrigated land, ranged from 0.20 to 1.00 l s^{-1} ha^{-1}. Considering a peak demand of 8 mm d^{-1} and a potential irrigation efficiency of 90%, the peak demand should be at least 1,03 l s^{-1} ha^{-1}. These five farmers had simply not enough water for their plots and accepted sub-optimal yields rather than diminishing the irrigated area.

On the other farms, farmers had theoretically sufficient discharge capacity of wells to increase the duration or the frequency of irrigation when water requirements increased (from June onwards). However, on some farms the yield of wells, i.e. the ability to deliver the peak discharge over a longer period of time, constituted also a problem for some farmers, especially during the summer. Only farmers with sufficient means were

able to install additional wells on the farm. Those farmers who did not have such means thus had to reorganize how water was distributed within the farm, and even within a plot. These farmers used two main strategies.

- **Irrigating a plot in different turns during the day**

One of the farmers of the learners' group, who owns 3 ha with only one well (45 m in depth), did not have sufficient discharge during the summer, and divided his plot into three irrigation blocks. His well would run dry after only a few hours of functioning. To solve this problem, he irrigated two blocks in the morning, and one block in the afternoon. In this way, he compensated for the water shortage by increasing the duration of irrigation in the plot as a whole, and thus a longer presence in the field. He applied more water to the plot (224% of the water requirements) than required. Interestingly, the water constraint did not seem to be sufficiently problematic for him to either deal with the yield problem of his well (e.g. digging a second well, increasing the discharge of the existing pump), or improving the poor irrigation performance of his irrigation system (DU of 43%).

- **Increasing the frequency of irrigation**

Several farmers (young horticultural farmers, learners and part-time farmers) were not able to increase the volume of a single irrigation during the period of peak water requirements in summer, as their well ran dry. To deal with the problem, they increased the frequency of irrigation. Monim -one of young horticultural farmers- who cultivates 3 ha of onions, started the irrigation season by irrigating every week. From the end of May, he increased the frequency, to every two days. In addition, he took great care of his irrigation equipment (installed in 2008), and had good distribution uniformity (85.6%). It is interesting to note that this farmer, like many farmers in the area, used gravity irrigation (small basins) to "establish" the crop. However, this initial application was not sufficient to avoid plant water stress, as he under-irrigated during the first part of the season (April to mid-May). Our observations of the total irrigation volume applied during the season, revealed that he over-irrigated, despite the problems he faced with his well (IE of 80%).

By reducing the duration of irrigation, the farmer "saves" water

All farmers are well aware of the concept of saving water, which has been promoted by the state. However, in their mind, the concept is less linked to the volume of water used for irrigation, but rather to the duration of irrigation, which was dramatically reduced when drip irrigation was introduced:

"Drip irrigation is good. It is a water saving technique. Before, I used to take four days to irrigate 1 ha; with drip irrigation one day is sufficient to irrigate my plot" (Mohamed, 26 years old, 2011).

Indeed, there were no water meters in 21 out of 22 drip irrigation systems, and none of the farmers knew how much water they applied, or how much water they could save.

3.3 Logic behind farmers adopting and using drip irrigation

The results of the previous section showed that farmers' practices are a determining factor in the performance of drip irrigation systems (efficiency), along with the condition of the equipment (DU), which in turn depends on the design and maintenance of the system. However, it is necessary to go one step further in the analysis by understanding the social context and the logic behind the farmers' (technical) irrigation practices. In this section, we identify different categories of farmers based on their irrigation practices, as well as the logic behind their practices (table 3, fig. 3). We show that hydraulic performance reflects differences between farmers in how they conceive and practice agriculture.

Table 3. The underlying logic of different groups of farmers operating drip irrigation systems.

Group	Prevailing logic of farmers with respect to drip irrigation
Large landholders (A)	'Landlord' status Increasing the size of the farm
Reference farmers (B)	Excellency
Small innovators (C1)	'Modern farmer' status Being a drip irrigation expert
Learners (C2)	Aiming for intensification
Young horticultural farmers (D)	Solving technical constraints Intensification
Part-time farmers (D')	Ease of use

Large landholders: every new innovation is first adopted by these farmers (Group A)

The large landholders have a wide social and professional network, meaning they are always informed about the latest technology. They are generally office bearers in the farmers' organizations, for example, the regional dairy cooperative. In the mid-1980s, several companies from Casablanca (importers of drip equipment) came to the Saiss region and encouraged these large landholders to start drip irrigation on their farms on a trial basis. Often, the equipment was installed on small plots (1-2 ha) free of charge. For these landholders, being a "big" farmer is an identity that requires them to stay informed about innovations, and to be the first to adopt new technologies.

"*At the time, a company from Casablanca came to see me to suggest drip irrigation. I remember that they installed it cost free on a 1 ha plot of plum trees. I could not refuse the*

offer, it was free of charge, it was an opportunity to discover drip irrigation" (El Haj Driss, 80 years old, 2011).

When the farmers tested the innovation, they were impressed by the high yields obtained after the introduction of drip irrigation. They consequently progressively equipped the whole farm with drip irrigation. Later on, the government also started to show interest in the technology, and this group of farmers often managed to obtain government subsidies for their irrigation equipment. Today, all their plots are equipped. They even equip the plots they rent, requiring their tenants to adopt drip irrigation too. In so doing, they are no longer aiming to maintain their "status", as today drip irrigation is now being used by a wide range of farmers, and is thus no longer a distinguishing factor for such large landholders. Instead, their current aim is to increase crop yields, thereby "rationalizing" their intentions, and to reduce labour requirements. However, they still want to be informed about innovation, and be the first to try new inventions (integrated automation systems for drip irrigation, for instance), and thus maintain their social status. To do so, they mobilize their professional networks, apply to state agencies for subsidies, and invest their own money. This does not always guarantee success. In one case, the (fully automated) high-tech system turned out to be unsuitable in the local conditions: "*The first few days after the company had installed the automatic drip irrigation system, I found it very beautiful, and very sophisticated. But when I started to use it, I discovered how complicated it was. Especially the fertigation system, and the solenoid valves; when there is an electricity cut, you can't irrigate. After a week of use, I replaced the big fertilizer tub by smaller tubs to make it easier to measure the doses of fertilizer, and replaced the solenoid valves by manual valves"* (Driss, manager of a large-scale farm, 42 years old, 2011).

The performance of the equipment belonging to the farmers in this group was surprisingly low, with DUs ranging from 12% to 55% (fig. 3, table 2). This can be explained by the fact that while these farmers are fascinated by the technology, they are not involved in the practical use of the equipment, which is handled by labourers or tenants. These workers do not spend much time on maintenance (renewing the tubes, cleaning the filters), as it has only a gradual (negative) impact on hydraulic performance. In addition, the plots are generally quite large, making it difficult to inspect all the drip tubes. Lastly, these farmers are clearly more interested in increasing the size of their farm, by renting in or purchasing land, than in intensifying the use of the land they already own. For all these reasons, the DUs of drip irrigation systems were very poor, which the farmers compensated for by using large volumes of irrigation water (200% of net irrigation water requirements, on average). Since these farmers have installed several often inter-connected wells, supplying sufficient water to compensate for technical deficiencies is not a problem.

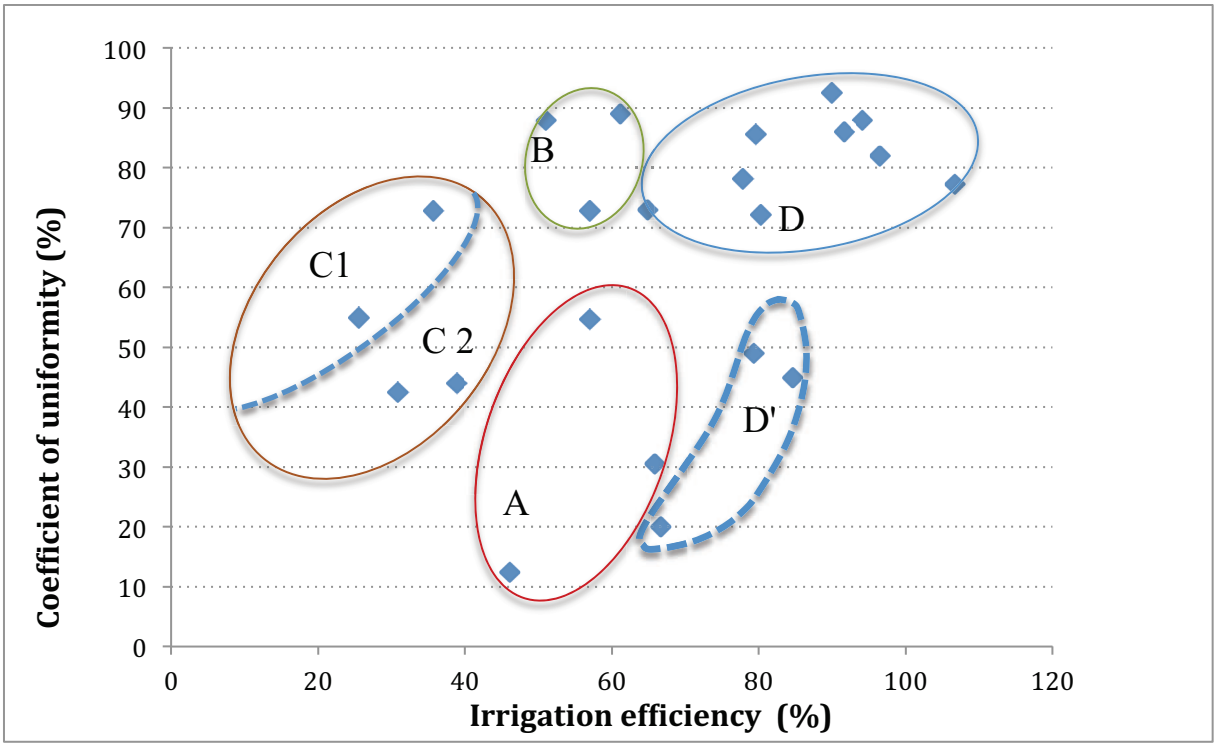

Figure 3 Classification of groups of farmers based on the logic behind their irrigation practices to explain irrigation performances (irrigation efficiency and coefficient of distribution, both in %).

Reference farmers (Group B)

Interestingly, the majority of farmers (those from our sample, but more generally most farmers in the study area) rarely refer to large landholders as a reference for their farming and (drip) irrigation practices. Instead, they turn to a small select group of medium-sized farmers, we called "reference farmers". This group of horticultural farmers, aim for excellence (calibre, quality of products, yields). These farmers are keen to know about any technological advances, but also pay a great deal of attention to new agricultural and irrigation practices. They often consult specialists for answers to specific questions related to technology and practices (fertigation, for example), and fix very clear targets for their production as they aim for specific markets. Like the large landholders, they hire labourers but they supervise them very closely, and are present on their farm every day. Their daily presence in the field also means they interact more with farmers in other groups, who are keen to learn from these reference farmers.

"*The first farmer to introduce drip irrigation in this village was "big" Mohamed* (group B, reference farmers)*. He is known to be a very competent farmer, he is a hard worker! He spends all his time on his farm! He has even installed a new crushing unit to make olive oil. He knows all the new techniques, and especially the best seed potatoes. He obtains excellent yields. Every year, before buying seed potatoes, I ask him for advice on which to buy*" (Taher, 31 years old, 2011, group C1).

This group of farmers introduced drip irrigation from 1996 onwards with the aim of intensification. They had observed drip irrigation on the large landholders' farms (group A), and were aware of its advantages. For them, drip irrigation is part of a larger intensive farming system. They adopted drip irrigation step-by-step. They first tried it out in a small plot to gain experience, but also to reduce the cost of investment. Progressively, they equipped their whole farm. The first plots were equipped by companies in the vicinity, but later on, they purchased spare parts and installed drip irrigation in their plots themselves. Too busy on their farm to "waste" their time negotiating with government administrations, and convinced that their investment would quickly pay for itself, these farmers equipped their farm without applying for state subsidies.

These reference farmers consider maintaining the equipment and monitoring irrigation are very important. For them "good irrigation" implies having excellent irrigation equipment (DU ranging from 73% to 89%; fig. 3, table 2), and ensuring that their plants never undergo water stress, as they have a clear production objective and do not want to take any risks. They generally over-irrigate (164%-196% of net irrigation water requirements).

Small innovators (group C1) were amongst the first to introduce drip irrigation on small plots. They acquired know-how about drip irrigation while working as labourers on large farms. Once they were back on the family farm, they designed a drip irrigation system suited to their own requirements: simple to use, less expensive than high-tech installations. Taher, for example, worked on a large farm where drip irrigation was introduced in 2002. He was even involved in installing the irrigation equipment there. He wanted to understand how drip irrigation worked, as it was the first time in his life he has seen it. When he returned to his own family farm, and after an excellent agricultural campaign in 2005, he installed a simplified drip irrigation system on his own farm (small valves, simplified fertigation system).

……looking for social status

For this group of farmers, drip irrigation is a synonym for a high social status. It is about being a "modern farmer". The main motivation for adopting drip irrigation in the first instance is to achieve this status. Taher used to be a labourer on a large farm. When he introduced drip irrigation on his family farm, his aim was to put himself on the same level as large-scale farmers, but also to improve his status in his family environment. His uncle, with whom he was in conflict over land inheritance, had installed drip irrigation, and had become a reference in the village: "*the day I installed drip irrigation, I was proud of myself. I finally had drip irrigation, there was no longer any difference between me and my uncle*" (Taher, 31 years old, 2011).

The farmers in this group clearly regard reference farmers (group B) as an example to be followed. In turn, these small innovators have considerable influence on other small-scale farmers (group D, for instance). As Taher's mother said: "*the day my son installed*

drip irrigation, it was like a wedding party. I invited my neighbours, and I organized a small party. Oh yes, on that day I was happy, it felt right, now we had drip irrigation like the large-scale farmers. I showed the drip irrigation system to my neighbours. Afterwards, everybody wanted to install drip irrigation. Our neighbour Mounir, for example, came over next day and asked Taher to install drip irrigation on his farm" (mother of Taher, 62 years old, 2011).

Today, Taher installs drip irrigation systems for farmers, gives advice to friends and neighbours on the type of equipment to install, and advises his clients on which dealer or fitter to contact to purchase and install the equipment. This means that farmers in this group often do not have the time and the energy to spend sufficient time on their own farm. The performance of the drip systems is relatively poor (DU=55-73), which they compensate for by over-irrigating, as they want to obtain the same yields as the reference farmers (IE=25 and 36%, respectively; table 2).

The second example is Khalid, who worked as a labourer on some large-scale farms in France, where he discovered and used drip irrigation. When he returned to Morocco in 2006, he decided to install drip irrigation on the family farm:

"*When I returned home from France, I immediately installed drip irrigation. At the time, drip irrigation was not very common in the village. It was a way to show the villagers that I came back with a certain know-how from France, and that this know-how related to something important: drip irrigation. I installed it myself. And since then, everybody talks about me as somebody who went abroad, and came back with something. He didn't come back empty handed*" (Khalid, 60 years old, 2011).

In contrast to the first farmer, Khalid's logic changed with time. While initially drip irrigation was mainly a status symbol, today his aim is to increase his crop yields. This is also linked to the fact that his son (26 years old) has taken over most of the management of the farm. For example, unlike the first farmer, they renew their drip tubes, and are very careful to maintain the equipment to ensure the irrigation system continues to function properly. Khalid is now part of group D (DU=82%; IE=97%).

The small-scale horticultural farmers: Learners (C2), Young horticultural farmers (D), Part-time farmers (D')

These farmers have less than 5 ha, and may be owners, tenants, or lessees. They adopted drip irrigation from 2006 onwards. Adoption was facilitated by three concomitant phenomena: 1) they learned about drip irrigation as labourers on large or medium-scale farms (groups A and B), 2) pioneer horticulturalists adopted drip irrigation on small-scale farms in their village, thus showing the feasibility of using drip irrigation on such farms (group C1), and 3) local expertise was developed concerning the sale and installation of drip irrigation equipment. This local support sector proposed cheaper equipment that was simpler to use, and suitable for the specific requirements of the farms. For example, on undulating plots or farms with problems of well discharge, they

proposed drip tubes with individual valves, enabling the farmer to adjust the pressure as required, and irrigate line-by-line. Certain farmers initially hesitated, but were convinced by the results obtained by neighbouring farmers. These farmers were not only able to obtain good onion and potato yields, but also gained in terms of the number of labourers required and the duration of irrigation.

"*I installed drip irrigation when my neighbour Taher installed it on his plot. He explained what to do, and told me whom to contact. Finally, it is easy to have drip irrigation. When I installed it, I used it to grow onions, as everybody said that onions grow well with drip irrigation and give excellent yields*" (Mounir, 27 years old, 2011).

In these three groups, we were given a range of different reasons for introducing drip irrigation. These reasons did not (or rarely) relate to improving social status, but to specific technical objectives (increasing agricultural production, obtaining a better quality product), and in response to specific constraints. In a way, drip irrigation had been demystified. The constraints related to water shortage, the difficulty of finding labourers, or the kind of topography that makes gravity irrigation difficult or even impossible. Drip irrigation thus allowed farmers to extend their irrigated area: "*I decided to install drip irrigation when I saw it at my neighbour's, who does not have sufficient water in his well. With drip irrigation, he could irrigate his entire plot. I contacted the son of a friend at the milk cooperative, who suggested I install a drip system with individual valves. This system was not very expensive, and was suitable for the conditions of my land; There is not enough water in my well, and my farm plot is on a small hill*" (Younes, 62 years old, 2011).

Today, there is a clear distinction between the three different groups of small-scale horticultural farmers. The farmers in group C2 are "learners". Their equipment is generally of poor quality, and they face many problems in their agricultural and irrigation practices. They are either isolated (limited social network), or only recently started drip irrigation. Group C2 is thus a temporary category, which farmers will leave after 1-2 irrigation seasons, most likely for group D (or D').

Group D comprises young farmers aiming for intensive horticultural production. For them, drip irrigation is part and parcel of 'modern' agriculture and an obvious choice that enables them to deal with specific constraints (labour, precise application of inputs, etc.). They closely observe the reference farmers (group B), and manage to closely follow their farming and irrigation practices. They also take advantage of the advice and support of local fitters. These (young) farmers manage the technology well (installation and maintenance). Once these small-scale farmers have used drip irrigation for 2-3 years, they may change their irrigation equipment in order to be "be more efficient and produce more", thereby also improving the distribution uniformity. Karim, for example, adopted drip irrigation to deal with the problem of insufficient water in his well. In 2010, he installed cheap, mobile equipment with individual valves, without fertigation

or filter systems. Today, he is in the process of installing a complete drip irrigation package on his entire farm, in order to obtain better yields. He is about to change from group D to group B (fig 4).

The farmers in group D' are only on their farm part of the time, as they have off-farm activities. Their limited presence in the field is reflected in the state of their drip irrigation systems, which are generally in bad condition (clogging, poor distribution uniformity; table 2). While in their interviews they talked about having the same intensification objectives as the farmers in group B, in practice, their irrigation and agricultural performance never matched their ambitions. Drip irrigation is often a way for them to reduce their presence on the farm and a technology with a certain ease of use.

3.4 Interactions between logics, and groups, evolving logics

Our results show that the (prevailing) logic behind farmers' adoption and use of drip irrigation differs, and that these differences have an impact on the quality of the irrigation equipment, the irrigation practices and the maintenance of the equipment, and hence on irrigation performance itself. Of course, no farmer (nor any group) acts on only one logic, and there is often a combination of mutually reinforcing rationalities at play. However, our discussions with farmers, as well as our field observations, revealed that the prevailing logic differed significantly in the different categories of farmers. Interestingly, the farmers themselves identified different categories of irrigation practices, and could easily relate to the categories we identified.

It was also interesting to note that the logic of farmers often changes once they start to use the drip irrigation system. Status is still relatively important, but less so since many farmers have adopted drip irrigation in the meantime. After 2-3 years of use, having improved their income, almost all farmers display economic logic, aiming to intensify their agricultural production. For small-scale farmers, this means intensifying production on their small plots. For large-scale farmers, this generally means increasing the size of the farm, while aiming at reasonably high yields, but without achieving the results of small-scale farmers. During this process, farmers often renew their irrigation equipment. While small-scale farmers at first buy cheap simple equipment (with a simplified filter system, for instance), after 2-3 years of use, they change to more complete irrigation systems. They not only have obtained the means to invest, but their ambitions have also changed.

As mentioned above, there are many interactions between the different groups with exchanges of knowledge, know-how, and practices, as farmers closely observed not only the farmers in their own group, but also those in other groups (fig. 4). These interactions influenced the logic of farmers, gave them ideas, which may lead to new investments in irrigation equipment, and to changing practices. We present two types of interactions in

figure 4. Firstly, farmers of a particular group observe farmers' practices of other groups, which thus serve as role models (dotted arrow). However, in some cases these farmers could not implement such practices, due to insufficient means or other constraints, as mentioned in fig. 4. This explains their current practices. Secondly, some farmers who observed certain practices of other farmers' groups adapted them to their situation, and thus changed their practices (plain arrow).

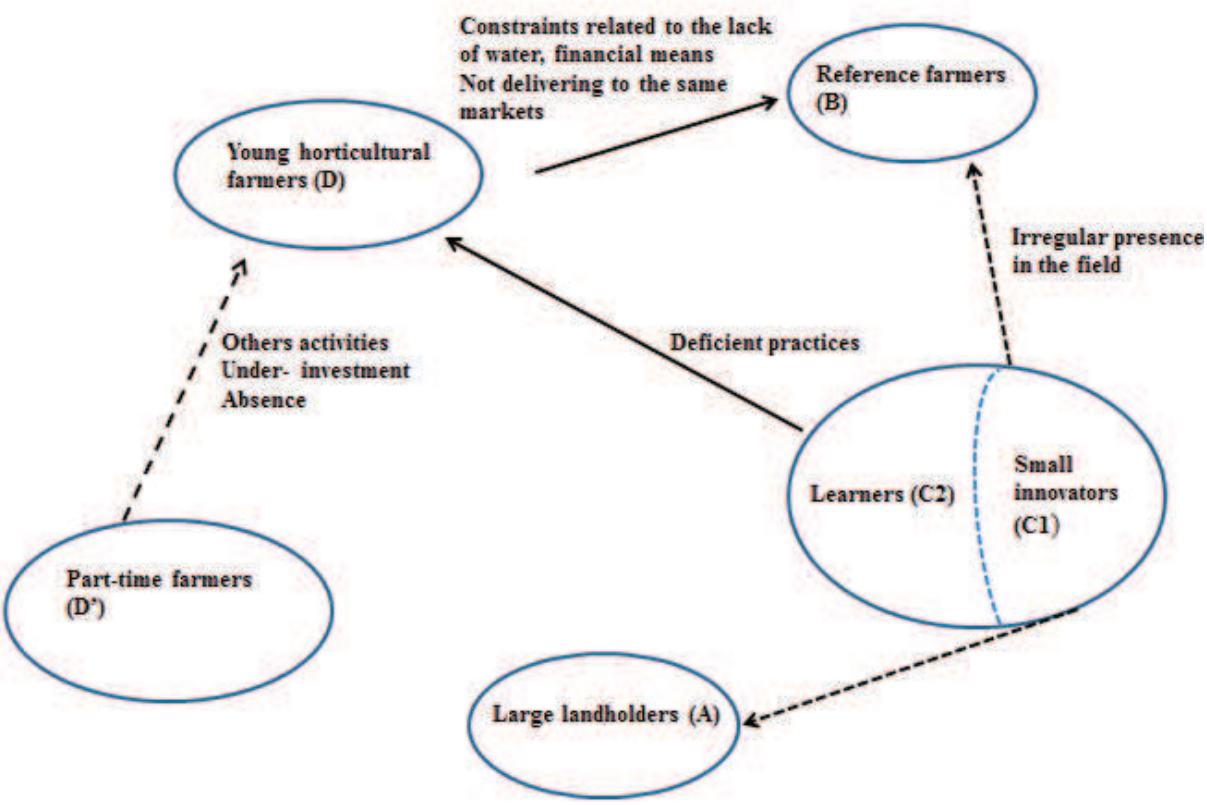

Figure 4 Interactions between the different groups of farmers related to drip irrigation and agricultural practices

Farmers may change category, but not all manage to catch up with other groups

The dynamics related to horticulture and drip irrigation can change rapidly. Farmers may move from one group to another as their logic changes or when they are able to invest more, for example in new equipment, or by improving their practices. In most cases, the farmers in group B (medium-sized farms) are the main reference, especially for those in group D, who are all small-scale farmers (fig 4). Group D farmers imitate the practices of the reference farmers, but their equipment is not as good (lower DU; table 2), and they have less access to water, as they do not have the means to dig additional wells. This leads to lower yields, and thus lower revenues, and a continuing difference between these groups. *"There is no big difference between me and Mohamed (group B,*

reference farmers), I have got good equipment. But I do not have enough water, otherwise I would just be like him" (Monîm, 26 years, 2011). Interestingly, the vast majority of the small-scale farmers (C2, D) did not refer to the large landholders (group A) as a source of inspiration, even though some had worked on their farms and learned about drip irrigation there. The (poor) performance of the drip irrigation systems we observed on these big farms, along with erratic irrigation and maintenance, tended to confirm the views of these small-scale farmers. However, the small innovators (C1) continued to observe changes in irrigation equipment in the farms of large landholders. Through their close links with labourers and farm managers who work there, they obtained information more easily than on the farms of reference farmers.

Other small-scale farmers (C1, D) also aimed to reproduce the agricultural achievements of the reference farmers (group B). However, they faced two types of obstacles. Firstly, their equipment did not perform as well (table 2, group C1). Secondly, some farmers had problems with their irrigation practices. Some may have had to face a general shortage of water in their well that limited their irrigation capacity, but more often they had difficulty in correctly estimating the water requirements of the plants they cultivated. Similar problems affected their agricultural practices, which impacts on yields and on the quality of the products. As the horticultural market becomes more competitive, the agronomic performance (yields, product quality) is considered more and more important: "*this year, I sold my onions to Marjane (supermarket) in Casablanca for 6 dirhams per kilo, better than Mohamed* (group B, reference farmers)*, and next year, I hope to have the same yields as he has, so that I can sell all of it to Marjane*" (Taher, 32 years old, 2012).

The irrigation practices of farmers in group C2 were problematic, mainly due to their lack of experience in the use of drip irrigation, while some lacked interest in their agricultural activities. With time, some of these farmers may reach the same hydraulic performance as those in group D, but many have structural problems that would be difficult to overcome. While they claimed their logic was the same logic as that of farmers in group D, many of them have off-farm activities, and simply do not have the time, or even the interest in improving their practices. For them, drip irrigation is a means to reduce labour requirements, and thus the need for their presence on the plot.

4. Discussion: Beyond water saving, putting drip irrigation performance in a wider perspective

In recent years, irrigation engineers have made a major effort to clarify the notion of irrigation performance, and to define appropriate indicators (Burt et al. 1997). Our study showed that these indicators are relatively easy to apply, even though they require considerable effort to collect data, particularly field data on irrigation applications. These indicators were also helpful to distinguish between problems affecting irrigation equipment (DU), and irrigation practices (IE). However, our study also showed that farmers define irrigation performance in different ways, relating them

to other objectives than 'just' water. Leeuwis and van den Ban (2004) provide four sets of variables to understand the logic underlying individual (irrigation) practices. Firstly, farmers rarely link the notion of "good irrigation" with efficiency or uniformity of distribution, as saving water is simply not a priority in their evaluative frame of reference (Leeuwis and van den Ban, 2004). Their aspirations to become "drip irrigation farmers" may be agro-economic (increasing yields, producing high quality products), improving social status, or obtaining knowledge in order to play a role in the drip irrigation support sector (councillors, fitters, salesmen). In fact, the combination of these aspirations, which converge in individual farmers, may explain part of farmers' enthusiasm for drip irrigation (Zwarteveen et al. 2012). Irrigation performance, as engineers see it, is at best only an intermediary objective for most farmers. Certain farmers may be interested in achieving good distribution uniformity to ensure good yields, but if they can compensate for poor uniformity by increasing the volume of water they use for irrigation, with no adverse effects on yields, there may be no reason for them to improve irrigation performance.

Secondly, irrigation performance should be seen more as a process than as a static, unchanging value. This is related to the farmers' belief that they are not only able to change their practices when they adopt drip irrigation (Leeuwis and van den Ban 2004), but also their ability to improve their (drip irrigation) practices as they go along. This was the case of the farmers in the "learners" group, who introduced drip irrigation, were not yet experts at all the practices, but were nevertheless confident they would learn them in a very short time, thereby probably improving their irrigation performance. From a more general point of view, the model proposed by Leeuwis and van den Ban (2004) is explicitly presented as a dynamic system in "continuous motion", through which "social actors connect their past, present and future". These dynamics are not only the result of feed-back mechanisms (learning, for instance), but are also related to changes in the social environment (local expertise of drip irrigation equipment manufacturers), or in changes in the aspirations of farmers or in their perceived self-efficacy. Farmers may thus change category from one year to the next as they become more confident or less interested in agriculture; new categories may appear and others disappear, and drip equipment may be improved or deteriorate. From a research point of view, this means that irrigation performance should be monitored as a dynamic process, efficiency and uniformity should be measured and farmers' practices observed over a longer period of time.

Thirdly, we showed how the wider social environment, which facilitated the introduction and use of drip irrigation, was established progressively. Local expertise developed that facilitated the purchase of equipment, the design and installation of the system, its maintenance, and irrigation practices. This allowed equipment to be designed for each particular situation. In addition, farmers had the support of strong social networks in the use of drip irrigation. They regularly met and discussed different practices related to drip irrigation with family members, neighbours, and friends. The

presence of a drip irrigation "community" doubtless helped new farmers adopt drip irrigation, but likely also influenced practices, and consequently irrigation performance. For the time being, irrigation performance does not appear to be an important topic in these networks, since, as mentioned above, farmers' aspirations do not include performing well from a hydraulic point of view.

Fourthly, there appears to be no social pressure on irrigating carefully to save water. There is only one actor, the state, who explicitly links the use of drip irrigation with saving water. However, the water saving objective is mixed with a water productivity objective (more crop per drop), which makes the message rather confusing for farmers. In addition, we almost never observed water meters on the drip systems, even on those that had been subsidized by the state. In other words, the water saving message did not get through to those who use drip irrigation systems, which are promoted to help save water through greater efficiency and a uniformity of distribution. This leads generally to over-irrigation, and added pressure on water resources. These results are in accordance with findings in India, where the adoption of drip irrigation led to increased pressure on groundwater (Namara et al. 2007).

These four sets of variables put the concept of irrigation performance in a wider perspective, thereby explaining the social nature of farmers' practices, and the wide range of hydraulic performance observed. Measuring hydraulic performance also helped identify the logic underlying farmers' practices. Frequently, the farmer's stated logic of irrigation corresponded to the logic of the "reference" farmers with whom they identified. The difference in the irrigation performance of two farmers who claimed to belong to the same category, prompted us to take a closer look at irrigation practices and pinpoint a mismatch between farmers' discourse and their actual practices. One of the farmers, who considered he belonged to the "reference farmers" category, was seen to possess all the capacities required to be in this group, but was not sufficiently present in the field to direct irrigation practices and the maintenance of his equipment. This farmer can be considered more as a councillor than as a practitioner of drip irrigation. The field measurements also helped us to overcome our own previously biased view of the performance of drip irrigation when we discovered that the large landholders' expensive high-tech equipment had the lowest distribution uniformity.

5. Conclusion: Putting the user at the heart of the irrigation performance debate

Drip irrigation is a common topic in the international literature, and is often viewed as a technical innovation leading to more efficient irrigation and water saving. Our results show that the use of drip irrigation does not lead automatically to water saving, even at the plot level. Farmers' practices do not necessarily target "perfect" irrigation in the sense hoped by engineers. Yet, the actors who install, use and maintain drip irrigation systems, and who consequently determine the actual irrigation performance of these systems, remain invisible to researchers, and to the policy makers who subsidize drip irrigation equipment. As a result, the efficient performance of drip irrigation is a myth.

Encouraging the introduction of drip irrigation is often considered sufficient to deal with problems of water scarcity. This means that little research is undertaken on how to improve actual irrigation performance. Putting the user first in research studies would probably lead to more modest assessments of actual irrigation performance, but could also draw the attention of policy makers to the actual conditions in which drip irrigation is implemented, and thus to including 'water saving' as an objective for individual farmers, and for the "drip irrigation community" as a whole. Our results also showed that farmers were able to improve irrigation practices over a relatively short time, for example to improve yields. This means that once water saving becomes part of their objectives, farmers will certainly be able to increase the irrigation efficiency.

From a methodological point of view, our approach combined the measurement of irrigation performance, the observation of irrigation practices, and the analysis of the underlying logic of farmers who use drip irrigation. This approach enabled us to explain the diversity and dynamics of irrigation performances in the field. While this may initially appear to complicate the analysis of irrigation performance, we believe that putting the actors concerned at the heart of the debate on irrigation performance (i.e. making them visible) will make it possible to turn the myth of 'saving water' through drip irrigation into reality.

Acknowledgments

This research was carried out in the framework of the Groundwater Arena project (ANR-CEP S 11/09), the NWO-MVI project 'Drip Irrigation Realities in Perspective', and the Daima project (AIRD/JEAI). The authors want to thank the editor and two anonymous reviewers for their constructive and helpful comments.

References

Adjei-Nsiah S, Leeuwis C, Giller KE, Sakyi-Dawson O, Cobbina J, Kuyper TW, Abekoe M, Van Der Werf W (2004) Land tenure and differential soil fertility management practices among native and migrant farmers in Wenchi, Ghana: implications for interdisciplinary action research. NJAS- Wagening J of Life Sci 52(3-4):331-348

Ameur F, Hamamouche MF, Kuper M, Benouniche M (2013) La domestication d'une innovation technique : analyse de la diffusion du goutte à goutte dans deux douars au Maroc. Cah Agric 22(4): 311-318

Benouniche M, Kuper M, Poncet J, Hartani T, Hammani A (2011) Quand les petites exploitations adoptent le goutte-à-goutte : initiatives locales et programmes étatiques dans le Gharb (Maroc). Cah Agric 20:7-40

Berriane M (2002) Le maillon intérieur: la region de Fes-Meknes. In: JF Troin (ed), Maroc, regions, pays, territoires. Maisonneuve & Larosse, Paris, 133-154

Burt CM, Clemmens AJ, Strelkoff, TS, Solomon KH, Bliesner RD, Hardy LA, Howell TA, Eisenhauer DE (1997) Irrigation performance Measures: Efficiency and Uniformity. J Irrig Drain Eng 123 (6):423-442

Camp CR, Sadler EJ, Busscher WJ (1997) A comparison of uniformity measures for drip irrigation systems. Am Soc of Agric Eng 40(4):1013-1020

Cote CM, Bristow KL, Charlesworth PB, Cook FJ, Thorburn PJ (2003) Analysis of soil wetting and solute transport in subsurface trickle irrigation. Irrig Sci 22(3-4): 143–156

Courilleau S, Lejars C (2013) L'économie informelle générée par l'utilisation des eaux souterraines : le cas de la filière oignons dans le Saïs au Maroc. Proceedings of the seminar 'Groundwater governance in North Africa', Biskra, Algeria, 3-7 December 2013.

Garud R, Karnøe P (2003) Bricolage versus breakthrough: distributed and embedded agency in technology entrepreneurship. Res Policy 32 (2003):277–300

Gleick PH (2002) Soft water paths. Nature:373-418

Karmeli D, Keller J (1974) Evaluation of a trickle irrigation system. Proceedings of the 2nd International Drip/Trickle Irrigation Congress. California, USA. Riverside Printers:287-292

Lankford B (2012) Fictions fractions, factorials and fractures; on the framing of irrigation efficiency. Agric Water Manage 108:27–38

Leeuwis C, Van Den Ban A (2004) Communication for Rural Innovation*:* Rethinking Agricultural Extension. Third Edition. Blackwell, Oxford

Lorite IJ, Mateos L, Fereres E (2004) Evaluating irrigation performance in a Mediterranean environment. II. Variability among crops and farmers. Irrig Sci 23(2): 85-92.

Luquet D, Vidal A, Smith M, Dauzat J (2005) 'More crop per drop': how to make it acceptable for farmers? Agric Water Manage 73:108-119

Molden D, Murray-Rust H, Sakthivadivel R, Makin I (2003) A water productivity framework for understanding and action. In: Kijne JW, Barker R, Molden D (eds) Water productivity in agriculture limits and opportunities for improvement. CAB Publishing, Cambridge, pp 1–18.

Namara RE, Nagar RK, Upadhyay B (2007) Economics, adoption determinants, and impacts of micro-irrigation technologies: empirical results from India. Irrig Sci 25(3):283-297

Pénadille Y (1998) Irrigation localisée. In: Tiercelin J-R (ed) Traité d'irrigation. Lavoisier, Paris, pp 498-530

Pereira LS, Oweis T, Zairi A (2002) Irrigation management under water scarcity. Agric Water Manage 57:175-206

Postel SL (2000) Entering an era of water scarcity: the challenges ahead. Ecological Applications 10 (4):941–948

Shah T, Keller J (2002) Micro-irrigation and the poor: a marketing challenge in smallholder irrigation development. In: Sally H, Abernethy CL (eds) Proceedings of Regional Seminar on Private Sector Participation and Irrigation Expansion in Sub-Saharan Africa. IWMI, FAO, ACP-EU Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation, Colombo.

Slatni A, Mailhol JC, Zairi A, Château G, Ajmi T (2005) Analyse et diagnostic de la pratique de l'irrigation localisée dans les périmètres publics irrigués de la basse vallée de la

Medjerda en Tunisie. In: Hammani A, Kuper M, Debbarh A (eds) Proceedings of the Euro-Mediterranean Conference on the Modernisation of Irrigated Agriculture, Rabat, Morocco, pp 112-122.

Tanji KK, Keyes CG (2002) Water quality aspects of irrigation and drainage: Past history and future challenges for civil engineers. J Irrig Drain Eng 128(6):332-340.

van der Kooij S, Zwarteveen M, Boesveld H, Kuper M (2013) The efficiency of drip irrigation unpacked. Agric Water Manage 123:103-110

van Halsema GE, Vincent L (2012) Efficiency and productivity terms for water management: A matter of contextual relativism versus general absolutism. Agric Water Manage 108:9-15.

van Schilfgaarde J (1994) Irrigation a blessing or a curse. Agric Water Management 25(3): 203-219

Vidal A, Comeau A, Plusquellec H, Gadelle F (2001) Case Studies on Water Conservation in the Mediterranean Region. IPTRID/FAO, Rome, 52 pp.

Wang J, Gong S, Xu D, Yu Y, Zhao Y (2013) Impact of drip and level-basin irrigation on growth and yield of winter wheat in the North China Plain. Irrig Sci, 1-13

Wolf JM, Gleason JE, Hagan RE (1995) Conversion to drip irrigation: Water savings, fact or fallacy—lessons from the Jordan Valley. In: Proceedings of the 1995 water management seminar, irrigation conservation opportunities and limitations. US Committee on Irrigation and Drainage, Sacramento, CA, 5–7 October 1995, pp 209–217

Wu IP, Gitlin HM (1983) Drip Irrigation Application Efficiency and Schedules. Trans of the Am Soc of Agric Eng 26 (1):92-99

Zwarteveen M, Kuper M, Benouniche M, van der Kooij S (2012) Re-thinking the performance of drip irrigation by decentring the technology. 2nd Responsible Innovation Conference, The Hague, December 13-14, 2012

Chapitre 5 : L'enrôlement des acteurs non-conventionnels dans la communauté du goutte à goutte au Maroc

Ce chapitre a été publié sous forme d'article :

Maya Benouniche , Mostafa Errahj , Marcel Kuper. (2014).The seductive power of an innovation: enrolling non-conventional actors in a drip irrigation community in Morocco. *The Journal of Agricultural Education and Extension*. DOI: 10.1080/1389224X.2014.977307

Aujourd'hui, les systèmes d'innovation sont considérés comme un concept utile pour 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). Akrich et al. (2002) ont proposé une théorie de l'innovation en mettant l'accent sur l'étude de *« l'innovation en train de se faire »* en reconstruisant les perspectives et les projets de tous les acteurs impliqués dans un processus d'innovation. Ils se réfèrent à ces acteurs comme des « alliés ». L'innovation est ainsi *« l'art d'intéresser un nombre croissant d'alliés »* où l'objet technique est intégré dans un *« réseau d'acteurs qui la reprennent, la soutiennent, la déplacent »*. Dans ce chapitre, nous postulons que ce modèle d'intéressement a rapidement remplacé le modèle linéaire d'innovation tel qu'envisagé par les acteurs formels au début du processus d'introduction du goute à goutte (grandes entreprises d'irrigation, notamment). Le succès d'une innovation (sa diffusion et son adoption) dépend alors de la participation active de tous ceux qui sont engagés à faire avancer la cause ; tout au long de ce processus, la technologie est transformée. Ceci est illustré dans ce chapitre par l'analyse des quatre moments de la traduction dans le processus d'innovation (Callon 1986).

Dans notre étude, nous avons voulu en particulier comprendre les motivations qui poussent des acteurs non-conventionnels à intégrer le processus d'innovation. A travers notre thèse, nous postulons que la diffusion rapide du goutte à goutte sur le terrain est due essentiellement à ces acteurs non-conventionnels qui ont pris en main l'innovation et en même temps l'innovation les a pris en main. Ceci est dû aux multiples attributs du goutte à goutte, qui ont pu séduire un nombre important d'acteurs non conventionnels. Ces acteurs ont changé la technologie mais cette dernière a changé aussi leur parcours socioprofessionnels.

Ce chapitre permet d'enrichir le débat scientifique récent sur les intermédiaires de l'innovation (e.g. Howell, 2006 ; Klerkx et Leeuwis, 2008). Ces études mettent en avant les rôles et fonctions de ces intermédiaires dans la circulation des information et connaissances, et plus largement dans la production, utilisation et diffusion de l'innovation (Geels, 2004). Cependant, peu d'études s'interrogent sur les motivations qui

poussent ces acteurs à intégrer le processus de l'innovation. Notre étude aide à comprendre les multiples voies des processus d'innovation, en interaction avec les trajectoires socioprofessionnelles des acteurs non conventionnels de l'innovation. Nous concluons qu'il est utile d'envisager l'intégration de ces acteurs dans les programmes de l'État et d'autres processus d'innovation, tels que les grands programmes de développement de l'irrigation, souvent impulsés par l'État. Souvent considérés comme des non professionnels ou même des imposteurs, nous concluons que ces acteurs non-conventionnels devraient être considérés comme des alliés dans ces processus d'innovation. Ils sont proches de la réalité du terrain et des utilisateurs de l'innovation. Ils sont également capables d'adapter une technologie tout en tenant compte des nécessités locales, ayant une parfaite connaissance du terrain. Ils ont fait leur preuve en mettant en place un goutte à goutte « populaire », de proximité. Considérer ces acteurs comme des alliés va certainement les motiver, car nous avons montré qu'ils sont souvent intéressés par une reconnaissance institutionnelle.

Ce chapitre se présente comme suite : une première partie décrit l'enrôlement des acteurs non-conventionnels au cours de trois instances d'innovation. Dans une deuxième section, les trajectoires de quatre acteurs non-conventionnelles, impliqués dans la production, l'utilisation et la diffusion de l'innovation sont analysées pour expliquer les motivations de leur implication dans le processus d'innovation du goutte à goutte, et décrire leur rôle dans ce processus. Et on termine par expliquer les engagements des acteurs non conventionnels dans le processus de diffusion du goutte à goutte.

The seductive power of an innovation: enrolling non-conventional actors in a drip irrigation community in Morocco

Maya Benouniche [a,b] maya.benouniche@gmail.com , Mostafa Errahj[c] merrahj@gmail.com , Marcel Kuper[a,b] marcel.kuper@cirad.fr

[a]CIRAD, UMR G-EAU, rue JF Breton,34398 Montpellier, France

[b] Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II BP 6202 1, rue Allal AI Fassi Madinate AI Irfane, 10101, Rabat, Maroc

[c]Ecole nationale d'agriculture de Meknès BP S/40, Meknès 50000, Maroc

Corresponding author : Maya Benouniche [a,b]
+212 6 24 51 46 31

The Journal of Agricultural Education and Extension ID: 977307

Purpose

The aim of this study was to analyze the motivations of non-conventional innovation actors to engage in innovation processes, how their involvement changed the technology and their own social-professional status, and to analyze their role in the diffusion of the innovation.

Design/Methodology/Approach

We studied the innovation process of drip irrigation in Morocco. We interviewed 35 farmers in two villages, selected to represent a diversity of farms, and observed their drip irrigation systems. We interviewed several local artisans and traders, and intermediaries about their social-professional pathway, using a checklist to understand their motivations and their involvement with drip irrigation.

Findings

We showed how a variety of non-conventional actors became involved in drip irrigation, leading to the progressive creation of an active inter-related socio-technical network involved in the sales, manufacturing, fitting, and use of drip irrigation systems. This network challenged an imported technology promoted by irrigation companies that targeted large-scale farmers, and transformed it into drip irrigation systems adapted to a wide range of situations and farmers, including small-scale farmers. The involvement of these actors led to reciprocal changes in the technology and in the socio-professional status of the intermediaries, hence accelerating the diffusion of the innovation.

Practical implications

Understanding the motivations of non-conventional innovation actors helps comprehend the multiple pathways of innovation processes, and the socio-professional pathways of innovation actors. It is worth considering integrating these actors in state programs and other planned innovation processes, as they are near to field realities and to innovation users, and are able to adapt a technology to local requirements.

Originality/Value

The results of this study contribute to the scientific debate about the mutually beneficial alliance of non-conventional actors and technical innovations.

Key words
Innovation, intermediaries, enrolment, diffusion, drip irrigation, Morocco

Paper type

Research paper

1. Introduction

Innovation systems research has changed the analytical perspective of innovation into a more complex, process-based systems approach (Spielman, Ekboir, and Davis 2009). Innovation systems have been shown to be a useful concept for understanding how multiple actors interact, exchange information, generate knowledge and develop, diffuse, and use innovations (Edquist 2005; Ortiz et al. 2013). Akrich, Callon, and Latour (2002) proposed an innovation theory focusing on the study of 'innovation in the making' by reconstructing the perspectives and projects of all actors involved in an innovation process. They referred to these actors as 'allies', as innovation is "*the art of interesting an increasing number of allies*", as the innovation integrates itself "*into a network of actors who take it up, support it, diffuse it*". This model of 'interessement' explaining the success of an innovation thus draws attention to "*the points of articulation between the object and the more or less organised interests which it gives rise to*" (*ibid*). Socio-technical networks are thus composite systems, combining humans and non-humans (actants) and even concepts, and also hybrid systems as they pertain both to the design, the use, and the diffusion of the innovation (Callon, 2004).

Mapping the "*effective multitude*" of actors and actants, and their interactions, in an innovation in the making (Akrich, Callon, and Latour 2002) constitutes a methodological challenge, as field realities are messy, and innovation actors often difficult to identify. In

agriculture, many authors have shown that conventional actors, such as the agricultural extension services, are not the only innovation actors. Innovation actors may be local farmers, innovation intermediaries and rural artisans or traders involved in 'second order innovations', who "*rewrite the grammar of innovation, change the relevant knowledge and even the relevant objectives of innovations*" (Knickel et al. 2009). Poncet, Kuper, and Chiche (2010) illustrated how in Morocco many local innovations were the result of farmers' initiatives, and involved a wide range of non-conventional actors, i.e. actors for whom the involvement in the innovation process may be an informal or a side activity, or even fellow farmers. Howells (2006) developed a framework to analyze the roles and functions of what he called innovation 'intermediaries', who act as agents or brokers in innovation processes. Such intermediary functions include demand articulation, network formation, and innovation process management (Klerkx and Leeuwis 2009; Kilelu, Klerkx and Leeuwis 2013). Friederichsen et al. (2013) indicated that intermediaries are a central actor in innovation systems due to their function to bridge informational gaps and mediate between the interests of actors comprising the system.

In this paper, we suggest that non-conventional innovation actors join the innovation process not with the aim of diffusion, but rather because of social-professional motivations. The aim of this study was to analyze the motivations of innovation actors who engaged in an innovation process, how their involvement changed the technology and their own social-professional status, and to analyze their role in the diffusion of the innovation. In doing so, we aim to contribute to opening the "*black box of innovation to analyze actors' motives and behaviors*" (Spielman 2005). Following Laschewski, Phillipson, and Gorton (2002), our underlying hypothesis is that such actors cannot be neutral or impartial in innovation processes as they co-steer these processes, and the functioning of innovation networks depends on their personal engagement (Klerkx and Leeuwis 2009). We also hypothesized that social capital was central in the socio-professional pathways of the innovation actors in relation to the innovation process. Following Bourdieu (1980), we defined social capital as the set of resources, which are linked to possessing a network of more or less institutionalized relations, based on mutual cognition and recognition. In our case, the expertise of the innovation actors is known and recognized by themselves, by others (e.g. the farmers or even the state services) or even by external observers.

This study concerned the diffusion of drip irrigation in Morocco. Drip irrigation is a pressurized irrigation technology that supplies water directly to the vicinity of the plants through perforated plastic tubes. It is advocated for its water use efficiency, as well as for improving yields while reducing labor requirements (Cornish 1998). This was a particularly interesting case study for us, as drip irrigation was originally thought to be only suitable for high-tech large-scale farms, but recent studies showed that it could be adapted by local actors, making it accessible to a wide range of users, including small-scale farmers (Ameur et al. 2013; Benouniche, Zwarteveen, and Kuper 2014). The

results of this study should contribute to the scientific debate about the mutually beneficial alliance of non-conventional actors and technical innovations.

2. Methodology

The study area is located in the Saiss, a rich agricultural area south of the cities of Meknes and Fes in northwest Morocco. From the 1980s onwards, farming systems in the Saiss were transformed from mainly rain-fed agriculture (cereals, vineyards) to irrigated agriculture as farmers progressively turned to groundwater use. This led to a significant increase in the area under fruit trees (42% of the irrigated area), and horticulture (35%). The Ministry of Agriculture estimated the current irrigated area in 2012 to be 49,677 ha, of which 45,316 ha depended on pump irrigation through more than 12,000 individual (tube) wells. Half of the irrigated area is irrigated by drip irrigation. The study concerned two villages, which reflect the dynamics of two different realities regarding the diffusion of drip irrigation. The differences between the two villages related to the timing of the introduction of drip irrigation, and to the types of farmers implementing drip irrigation. In the first village, drip irrigation appeared with the arrival of large investors in the early 1990s and was adopted by medium and small-scale farmers from 2000 onwards (Ameur et al, 2013). In the second village, the development of drip irrigation occurred later. Most large (absentee) farmers in this village did not practice irrigated agriculture, and it was mostly the small holders who engaged in drip irrigation.

Following the objectives of this paper, we first identified the non-conventional innovation actors, i.e. local artisans, traders, innovation intermediaries or even fellow farmers, involved in diffusion of drip irrigation. This is very complex, as most actors are not officially registered, and their involvement in drip irrigation continuously changes. In addition, a particular non-conventional innovation actor may be involved in different activities. We thus identified these actors through interviews with farmers adopting drip irrigation.

We hypothesized that specific innovation actors would not necessarily have interacted with all types of farmers, as 1) their drip irrigation systems may be different, 2) they introduced drip irrigation during different periods, 3) in case of state subsidies, certain informal actors may not be involved. In order to identify all non-conventional actors that were active in the study area, we aimed to select and then interview the largest possible number of farmers who had installed drip irrigation in the past 25 years in the two villages. We interviewed a total of 35 farmers (out of 44 farmers who had adopted drip irrigation), representing a diversity of farm types: 1) *Large-scale farmers* (6 in our sample) who first introduced drip irrigation in their large-scale farms (>100 ha); they practice four different farming systems: orchards, horticulture, livestock, and cereals, 2) *medium-scale* (10-15 ha) horticultural farmers (5) specialize in the production of onions and potatoes, 3) *small-scale horticultural farmers* (24) represent the majority of small-scale farmers (<5 ha); they specialize in the production of onions and potatoes. We

asked the selected farmers about how they fitted drip irrigation (who they contacted, when, and how they installed the system), who sold them the equipment, and who advised them during this process.

We thus identified, and then interviewed 13 non-conventional actors named by the farmers for their role in the innovation process about their activities and functions, using a checklist. We distinguished the different types of intermediaries, artisans and traders involved: 1) fitters help farmers to install the drip irrigation system in the field, 2) welders make repairs to the equipment (pumps, engines, filters etc.); certain welders even fabricate certain components of the drip irrigation system, thus becoming recognized manufacturers, 3) retailers sell irrigation equipment to farmers, and 4) advisors make the link between farmers and different artisans and traders. This enabled mapping the involvement of non-conventional actors in the diffusion of drip irrigation. We also interviewed engineers of the Ministry of Agriculture, in charge of subsidy procedures, and engineers of private companies, to cross-check the information provided by farmers and intermediaries.

The names of four actors came up repeatedly in the interviews, as persons known and recognized for their expertise in delivering an adapted drip irrigation system to a wide range of farmers in the study area. These four actors had handled the implementation of the vast majority of drip irrigation systems in the study area. We decided to undertake detailed interviews with these actors, i.e. 1) a small-scale farmer who had adapted drip irrigation systems to small-scale farmers and later became a fitter, 2) a fitter for small-scale farmers, who had obtained his knowledge in large-scale farms, 3) a manufacturer of local equipment, who was also strongly involved in the repairs of drip irrigation systems, and 4) a retailer selling imported and local equipment. We interviewed them about their social-professional pathway, using a checklist (when and how they learned to use drip irrigation, their knowledge, their functions, their network, their professional activities) to understand their motivation and how they became involved with drip irrigation. We observed how they worked and with whom, and how they interacted with other actors. We also interviewed their customers, i.e. the sample farmers, on the choice of these intermediaries.

3. Results

3.1 The enrolment of non-conventional actors in three innovation periods

The diffusion of drip irrigation in the study area was rapid. We identified three innovation periods (fig. 1) (Ameur et al. 2013). In the first period, large-scale farmers progressively introduced drip irrigation, mainly for fruit trees. The large farms in the second village (often absentee farmers) did not practice irrigated agriculture, which delayed its diffusion there. During the second period, little extension occurred in either village, but medium and small-scale farmers experimented with drip irrigation for horticultural crops. In the third period, a large number of small-scale horticultural farmers adopted drip irrigation leading to its rapid diffusion. In 2012, 224 ha (44% of

the agricultural area) were under drip irrigation in the first village, and 178 ha (27%) in the second, concerning almost 30% of the farmers in both villages.

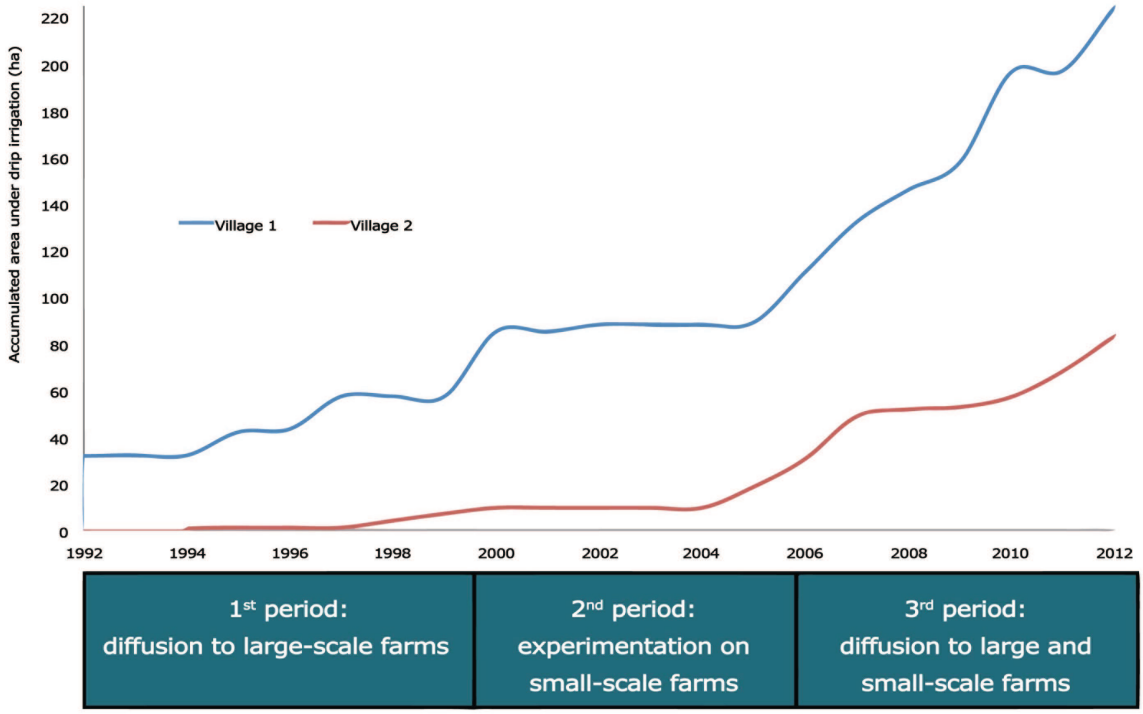

Figure 1 Increase in the area equipped with drip irrigation in two villages in three successive innovation periods.

The three innovation periods are linked to the development of three socio-technical networks involving non-conventional actors (fig. 2). The figure shows the multitude of actors and actants involved in the process: 1) large-scale and small-scale farmers, and their farm managers and laborers, 2) local artisans and traders, including retailers, welders, and fitters, 3) intermediaries making the link between different actors, and actants, and providing information and knowledge (farmers, local artisans and traders, advisors), 4) engineers of private irrigation companies or of the agricultural services in charge of the subsidy procedure, and 5) different drip irrigation systems (DIS), and the components of these systems. In the three innovation periods these actors successively 1) got involved, 2) re-engineered drip irrigation systems adapting them to local conditions, and 3) became important (but fewer) innovation actors who provided different clients with complete projects.

Learning by doing: involvement of non-conventional actors (1990-2000)

In the first innovation period (1990–2000), irrigation companies from Casablanca -the major entry point into Morocco for imported merchandise- proposed imported equipment to large-scale farmers. These farmers progressively introduced drip irrigation, mainly for fruit trees. This showed that drip irrigation could work in local

conditions (soils, farming systems). This first socio-technical network was important for future diffusion, as non-conventional actors became involved in the drip irrigation world (fig. 2). Conventional actors (irrigation companies, linked to (inter)national technology providers) were based more than 200 km away, and business was insufficient for effective local after-sales service. Large-scale farm owners were rarely involved in day-to-day operations, because they have another professional status in nearby towns (liberal professions) or they are office bearers in farmers' organizations, e.g. the regional dairy cooperative, so they are often absent. Farm managers thus supervised the installation and use of drip irrigation, and farm laborers actually installed it, alongside company technicians. Managers and laborers directly handled the equipment, and when necessary repaired it. Without much preparation, learning on the job, they gradually acquired experience in the fitting, and operation and maintenance (O&M) of drip irrigation.

During this period, these farm managers and laborers prepared for the functions they would later play in the innovation process as advisors, fitters or retailers. Firstly, farm managers and laborers progressively created a demand, both for the technology itself and for the supply and repair of spare parts. Secondly, multi-actor drip irrigation networks were progressively installed. Farm managers and specialized (irrigation) laborers developed working relations with company technicians, local retailers and welders, while supervising the running of the drip irrigation systems. Thirdly, by making these networks work, farm managers and laborers facilitated the alignment of these networks through functional links and enabled further learning on making drip irrigation work. Different actors got used to working together while dealing with the daily operational problems of drip irrigation; they were recruited in the drip irrigation world while making imported equipment work.

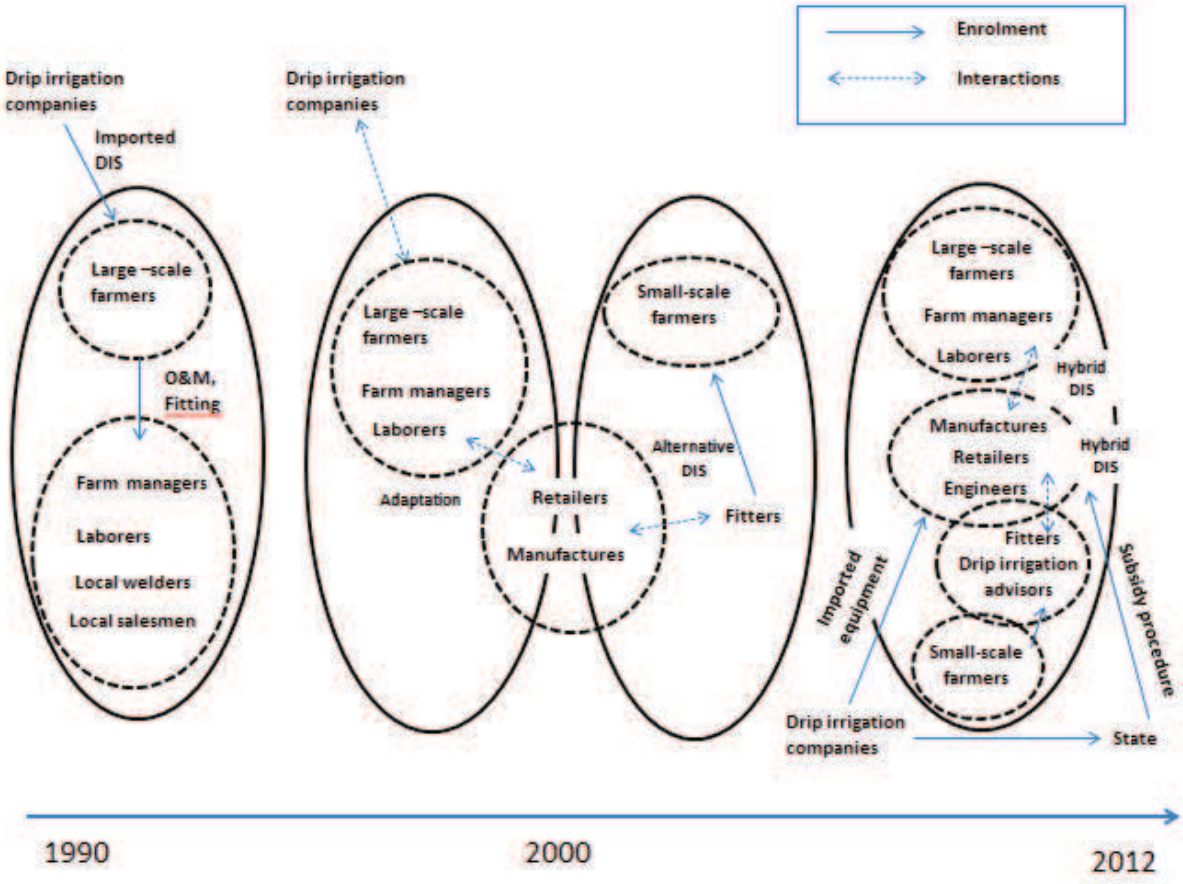

Figure 2 Involvement of non-conventional actors in the diffusion of drip irrigation in three different socio-technical systems.

Non-conventional actors developed their own niche by creating new trades (2000-2005)

In this second period (2000-2005), large-scale farmers extended drip irrigation to other plots. Their laborers now installed the equipment by themselves, which provided more learning opportunities. This also increased the area under drip irrigation, and created more demand for drip equipment, and repair services. Large-scale farmers became the drivers of an emerging local support sector. A second socio-technical network emerged that targeted the development, diffusion and use of drip irrigation for horticulture on small-scale farms. It built on the knowledge and experience acquired in the first network. Some laborers installed drip irrigation on their own small farms, mostly for horticultural crops (potatoes, onions). These non-conventional actors adapted the technology, developing simpler and less costly drip irrigation systems. Laborers became drip farmers, fitters, and advisors. Local fitters or welders became retailers or manufacturers of drip irrigation equipment. The local support sector catered for both networks, although some actors specialized in systems for large or small-scale farms. This was the start of a period of glory for such actors; their social-professional status improved as they created new trades.

This innovation period was a time of rapid adaptation characterized by a re-engineering of drip irrigation systems by an emerging support sector made up of different non-conventional actors. A wide range of equipment was now available at local retailers, and welders repaired and manufactured drip irrigation systems. Local fitters installed drip irrigation systems on small-scale farms, but in reality they fulfilled the different functions generally associated with innovation intermediation. They adapted standard technological packages to meet the specific requirements of farmers. This included low-cost equipment for farmers who wanted to experiment with drip irrigation, thereby lowering the entry cost into the drip community. They also developed innovation networks. There was at least one local fitter in each village, linking farmers and local artisans and traders (retailers, manufacturers) (fig. 2). During this process, the farmers generally discussed with the fitter about the technical choices (type of drip irrigation system, choice of equipment, design of the system), and about the choice of the artisans and traders. The network was multi-facetted, and farmers would try different intermediaries to avoid monopoly situations. This maintained lively, competitive networks in which intermediaries had to remain posted on new developments, deliver appropriate services, and more generally respond to the needs of farmers.

Professionalization of the informal sector (2005–2012), involving conventional actors

In the third innovation period, drip irrigation spread fast, and was installed on all farm types, including small-scale horticultural farms. More and more farmers were interested in drip irrigation, which had shown multiple advantages to farmers in the area (increased yields, ease of use, social status etc.). Farmers had also better knowledge on how to make drip irrigation work, and were supported by increasingly solid networks of support services. This period was characterized by the progressive amalgamation of the two existing socio-technical networks, with the diffusion of drip irrigation to all types of farmers. This amalgamation was facilitated by the development of a hybrid drip irrigation system combining imported and locally manufactured components, which progressively became the local standard. State subsidies to promote water saving and water productivity (80-100% of the investment cost of drip irrigation) encouraged the new drip irrigation artisans and traders to formalize their activities, or to associate with formal actors, such as the national irrigation companies. The formal actors were very interested in extending their activities to the booming informal sector, and contacted local fitters or retailers in the hope of delivering their services through them. Local artisans and traders increased the scale of their operations, found new clients, and professionalized their business, by catering to a diversity of often-complex projects. As competition increased, some drip irrigation intermediaries quit their jobs as fitters, and farmers bypassed them by dealing directly with retailers or manufacturers. Other intermediaries were able to continue their (informal) activities by sticking to classical intermediary functions, for example by acting as an intermediary between drip irrigation artisans and traders, and farmers. Such intermediaries played a pro-active role in finding new clients, and accompanied small-scale farmers in their negotiations with drip irrigation artisans and traders, for example to obtain credit facilities.

3.2 The pathways of four non-conventional innovation actors

In this section, the pathways of four non-conventional innovation actors are analyzed to explain their reasons for getting involved in drip irrigation, and describe their role in the diffusion of the innovation (table 1). We take a closer look at their socio-professional motivations for engaging with drip irrigation and the attributes of the technology that attracted them to drip irrigation (table 1). The pathways of two drip irrigation fitters, who were intermediaries in the innovation process, are first described. The pathways of a drip irrigation artisan, and of a trader are then presented.

Drip irrigation fitters

1) *Driss: a jack of all trades*

Driss was a specialized laborer on a big farm, in charge of the irrigation crew. In 2002, he helped technicians from an irrigation company install a drip irrigation system. After they left, Driss had to deal with daily operating problems, including clogging of emitters, and repair of tubing (table 1). Next, his boss asked him to install a drip irrigation system on a small estate close to the capital. This miniature system was based on the use of small valves. The valves were cheap, making it possible to install drip irrigation on small plots. This was an eye-opener for Driss, who discovered that drip irrigation was not as complicated or expensive as he had thought, and that it was possible to use it on a small plot: *"I started to imagine my own drip irrigation system"* (Driss, 32 years, 2013).

Encouraged by the experience gained on the large-scale farm, and the good relationship with a local drip irrigation retailer, Driss installed drip irrigation on his own small-scale farm (< 1 ha). He became well known in his village: he was a small farmer, yet he had a drip irrigation system like big and modern farmers, and he was even capable of fitting such systems: *"when I installed my drip irrigation system, everybody came to see it, my father, my mother, and my neighbors, it was like a wedding party."* (Driss, 32 years, 2013). A few days later, a neighbor asked him to install a similar drip irrigation system. Driss was able to test his know-how on his own farm and on his neighbor's, which increased his self-confidence. He found his niche as a fitter of drip irrigation for small farmers, and as an intermediary between farmers and tradesmen (retailers, manufacturers). Driss became "Mister" Driss; he left his job as a laborer on the big farm: *"I felt so proud of myself the day my neighbor asked me to install drip irrigation. He contacted me as a drip irrigation specialist, not as a laborer"* (Driss, 32 years, 2013). Driss became increasingly involved in the emerging drip irrigation networks; his social status changed.

Today, Driss no longer installs drip irrigation systems because farmers can install it themselves. However, he continued to be involved in the diffusion of drip irrigation because the modernity associated with this technique is important for his social status (table 1). Farmers asked him for advice, and he helped them design their system, and

then put them in touch with a retailer he knows, often free of charge. He remained active in drip irrigation networks, both with the actors of the supply sector, and with laborers on the large-scale farms, so he was informed about new equipment, and new (drip irrigation) practices. He travelled a lot in Morocco, and went to different international and national shows and trade fairs. In addition, he remained involved in the small-scale family farm.

2) Aissam: drip irrigation as long as it goes

Aissam discovered drip irrigation when he was a farm manager on a large-scale farm. In 1992, he helped fit 30 ha of orchards with drip irrigation, and supervised laborers in its operation and maintenance (table 1). In 1996, Aissam quit his job when he got married, and returned to his village where he farmed land belonging to a cousin. In 1998, he accepted a job as a fitter with a local retailer: *"My uncle suggested I work for Mohamed* (retailer)*; he needed laborers who knew how to fit drip irrigation. He had a lot of demand from farmers; he was looking for laborers who had already installed drip irrigation systems on big farms"* (Aissam, 43 years, 2013). He helped fit 5 ha of drip irrigation for horticulture, and discovered it could be adapted to small-scale horticulture.

Fifteen days later, Aissam's uncle asked him to install drip irrigation on a 7-ha plot in his village. His uncle was very satisfied with the drip irrigation system and showed it to all the villagers. This success gave Aissam self-confidence and a certain reputation. Attracted by the rapid diffusion of drip irrigation, he left his job as a farmer, and became a full-time fitter of drip irrigation for small-scale farmers, making a living out of installing drip irrigation.

However, the situation gradually changed: *"2004 was the peak for drip irrigation, people called on me in my own village and elsewhere. I had a lot of work and was paid very well. But from 2010 on, demand fell. Today everyone knows how to install drip; nobody needs a fitter. Drip irrigation does not bring me anything, there is no future in it, we can't make a living from it any more"* (Aissam, 43 years, 2013). As a landless farmer he did not have a "laboratory" to test and innovate with drip irrigation. He simply reproduced the same drip irrigation system, which he installed for all the small-scale horticultural farmers in his village. With time, the technology of drip irrigation was demystified, and farmers no longer required his services. He did not improve or expand his business, and other more resourceful intermediaries took over. In 2011, Aissam left the drip irrigation sector and started to work again as a farm laborer. Today, he works as a laborer at the dairy cooperative, where his uncle - president of the cooperative - hired him. Unlike Driss, when his income went down, he was in no position to continue in the drip irrigation world. In other words, drip irrigation was just synonym of making a living (table 1).

Actor	Professional activities	Functions	Motivation	Attributes of drip irrigation systems
Driss	Laborer	O&M; fitting	Social status	Modernity
	Farmer	Adapting drip irrigation system to small-scale farms		
	Fitter	Design the drip irrigation system; Linking to artisans and traders ; fitting; provide information to farmers		
	Advisor	Looks actively for information, and provides it to farmers; linking farmers to artisans and traders.		
Aissam	Farm manager	O&M; fitting	Making a living	Rapid diffusion (getting in)
	Fitter	Linking to artisans and traders; fitting		
	Employee outside drip sector	-	Regular job	Demystification (getting out)
Mohamed	Welder	Maintenance, repair	Recognition as a manufacturer	Technicality
	Manufacturer	Fabrication of equipment; maintenance, repair		
Younes	Laborer	O&M; fitting	Business development; professional recognition	Belonging to multiple spheres
	Fitter (employee)	Fitting; involvement in complex projects		
	Retailer, representative of national irrigation company	Sales of customized drip irrigation systems; linking the drip irrigation project to multiple actors		

Table 1 Professional activities, functions, motivations of four innovation actors, in relation to the attributes of drip irrigation systems.

Drip irrigation artisans and traders

3) Mohamed: a welder and a pioneer manufacturer of irrigation equipment

Mohamed was a qualified technician. He was a trainee welder in a local workshop, and after two years set up his own welding workshop. He repaired pumps, engines, and plows (table 1). In 1998, a big farmer ordered a sand filter from him, because he thought the imported filters were not strong enough. Mohamed bought an imported filter from a nearby retailer, took it apart and copied it, using good quality metal sheet. The filter turned out to be a success, thus providing excellent publicity for his work. In 2000, he produced 30-40 filters a year for farmers located as far as 30 km away. However, he continued to look for other work, and was also known for transforming diesel into gas engines, the demand for which increased rapidly from 2004 onwards. The trust farmers had in his workmanship, and the extensive networks (farmers, retailers, suppliers) he developed were based on drip irrigation, but Mohamed ensured he would not depend on the (temporary) boom in the drip irrigation sector.

From 2008 onwards, state subsidies increased to 80-100% of the investment cost of drip irrigation systems to promote water saving and water productivity. Farmers were more demanding, as the products Mohamed manufactured had to qualify for the subsidy procedure. Mohamed also had an increasing number of drip irrigation intermediaries (retailers, fitters) as customers, who wanted to sell key-in-hand drip irrigation projects to farmers. In 2010, he opened a shop to sell his products in the city of Meknes, and will open another in 2013. As a trained mechanic, Mohamed was initially attracted by the technicality of drip irrigation, but is increasingly looking for recognition as an able manufacturer (table 1). He aims to show his products at the international agricultural fair in Meknes, where he will be competing with (inter)national manufactures.

4) Younes: a retailer catering to different markets and a contractor for complex projects
Younes learned about drip irrigation in 1982 when he was a farm laborer and installed drip irrigation (table 1). After 12 years as a specialized laborer in charge of the irrigation crew, an opportunity arose in 1994: "*At the time, very few people could handle drip irrigation and with all the knowledge I had, I could not remain a laborer. I often went to nearby towns on business. One day, the director of a consultancy firm in Meknes suggested I join his team of fitters. I immediately accepted, and left my job as a laborer*".

Younes worked as a fitter with different consultancy firms, which allowed him to develop extensive networks with farmers, intermediaries, and drip irrigation companies. His principal function was fitting, but he was involved in complex projects (table 1). In 2005, a representative of one of the leading Casablanca drip irrigation companies encouraged him to set up as a retailer. The company found him the premises in a nearby town, and supplied him with irrigation equipment. The company thus obtained access to the emerging market of small-scale horticultural farmers, while Younes started a professional career as a retailer and a local representative of the drip irrigation company.

Younes was highly appreciated by small farmers. He supplied good equipment, provided credit facilities, and could give advice about the equipment. He managed to obtain the official State license, and supplied a wide range of clients, including large-scale farms. Due to his extensive socio-professional networks, he catered for increasingly complex projects: 1) for state-subsidized projects, he hired an engineer to design the project, as the procedure requires a qualified engineer, 2) he provided the equipment for different drip irrigation systems, generally a mixture of imported and Moroccan equipment, or are made locally (by Mohamed, for example), and 3) he called on a local fitter to install the equipment, when required. Drip irrigation systems thus belonged to multiple (administrative, commercial, financial, technical) spheres, and they had to be adapted to the myriad of specific requirements of different farmers. This encouraged the emergence of actors like Younes, able to bridging these different spheres. This provided business opportunities, but also recognition from some of the formal actors (state, irrigation companies), who needed people like Younes to penetrate the market of small-scale farmers.

3.3 Explaining the engagement of non-conventional actors in diffusing drip irrigation

We showed how four non-conventional actors became involved in drip irrigation as local artisans and traders, or as innovation intermediaries, and actively contributed to adapting it to the requirements of a wide diversity of farmers, and to its rapid diffusion. While doing so, their role and functions evolved depending on the dynamics of drip irrigation and the socio-technical networks, and their personal assessment of the importance of drip irrigation for their professional career and social status.

We showed previously that there was a considerable mobility of innovation actors in their professional activities, and in their role and functions in the socio-technical networks. Some actors even quit the drip irrigation sector. To explain this mobility, as well as the capacity of actors to redeploy in other sectors, we analyze the two dimensions of the resources that non-conventional actors mobilize and produce in interaction with the dynamics of the socio-technical networks: 1) internal (cognitive) resources versus external resources, and 2) social capital. Following Bourdieu, the notion of social capital was extended to include the position these actors have in society, which in the Moroccan context, means how actors relate to their environment (urban or rural background). Intermediaries bring together knowledge from "*disparate sources*", and their background influences the "*range of information that may be accessed*" (Nahapiet and Ghoshal 1998). Actors with an urban profile have easier access to formal education; they can explore wider socio-professional networks, and have different personal and professional ambitions and reference models than those with a rural background. It is argued that the interplay of these three dimensions (rural/urban background, cognitive resources, social capital) help understand the role and functions of innovation actors in the diffusion of drip irrigation, and on whether the actors remain engaged in drip irrigation or redeploy in other professional activities. The two actors who remained engaged in drip irrigation are first described, and then the two actors who are no longer engaged. We scored each of the three dimensions, as well as the ensuing capacity to re-engage elsewhere (fig. 3).

Those who remain engaged in drip irrigation

Driss had strong links to rurality (fig. 3) and always lived in a small village. His role models were rural, and all related to the authority figures in the village (notables, big farmers, local authorities) or to modern farmers who had a reputation for excelling in agriculture. For Driss, drip irrigation was a way to be recognized as a modern farmer, but also gave him social recognition as a drip specialist. During the three innovation periods, Driss went to great trouble to improve his cognitive resources (knowledge, know-how) about drip irrigation. Driss also continuously invested in social capital, and is part of a lively drip irrigation network. He trained fitters, who in turn consult him, and keep him informed about what is going on in the surrounding villages. He remained in touch with laborers on big farms so he could be regularly updated about new agricultural/irrigation practices, and with drip artisans and traders for regular

information about new equipment. He stuck to drip irrigation whatever it takes and his capacity to re-engage elsewhere appears to be limited, since he has remained in his rural environment and has few external resources or opportunities. Going back to simply being a farmer, even a modern one, would mean a loss of status.

Younes had an urban profile, although he had strong links with the countryside. He started as a farm laborer, but lived and worked in a small town. His shop was strategically located at a major intersection, and was an important local center for drip irrigation. It was his social capital (being recognized as a person worthy of trust) more than his cognitive resources that helped him during his drip irrigation career. During the first period, he worked for a Spanish farmer, who installed drip irrigation 10 years before anyone else. The farmer trusted him, let him handle the drip irrigation, and deal with external actors (retailers, fitters). A few years before the second innovation period, he became a fitter for a regional irrigation company, which dealt with a wide range of often-complex drip irrigation projects. This necessitated frequent interactions with farmers, fitters, engineers, technicians, and even state officials for the subsidy procedures. His experience in dealing with complex projects, and his relations with a wide range of actors prompted a leading national irrigation company to ask him to become their local representative. This relationship turned out to be very profitable both for this company, which penetrated the local market of small-scale farmers, and for him as he became a licensed retailer. Younes has been successfully involved in drip irrigation for more than 30 years; all his professional contacts are linked with this innovation, and he is proud to be connected to all these different socio-professional spheres. He does not envisage leaving the drip irrigation sector, and his capacity to reengage elsewhere appears limited.

Those who are no longer engaged in drip irrigation

Aissam had a strong rural background; his professional ambitions remained linked to rurality (fig.3). Aissam's uncle, a big farmer, strongly influenced his professional career, obtaining him jobs in the three successive innovation periods. Aissam was mainly interested in making a living, something that drip irrigation provided to him for a while. He was not able to capitalize on his knowledge and know-how, and his cognitive resources were limited. Although he was known in his village for a few years as a drip irrigation fitter, even his social capital remained limited. He quickly lost his aura as a specialist as drip irrigation users acquired the same know-how and knowledge. In the rapidly evolving world of drip irrigation, there was no further place for Aissam. However, his uncle helped him find another job.

Mohamed had an urban profile; he was able to qualify as a mechanical technician. He lived in Meknes, and had a workshop in a small town close to his (rural) clients. He was often in Meknes, and compared his products with those of big regional companies, staying informed about technological advances. Building on his initial training, Mohamed took advantage of each innovation period to improve his cognitive resources.

He invested considerably in his social capital. He trained young mechanics in his workshop, and helped them set up their own workshops. He was recognized as the "master" of his trade in the area, and was recently elected president of the local association of mechanics. He was reputed to always be in advance of his peers. This also explains why he (partially) moved out of drip irrigation, when the heydays of drip irrigation were over. Indeed, thanks to his personal cognitive resources, his extensive network, but also his professional reputation, he has proven his ability to re-engage in other fields of activity.

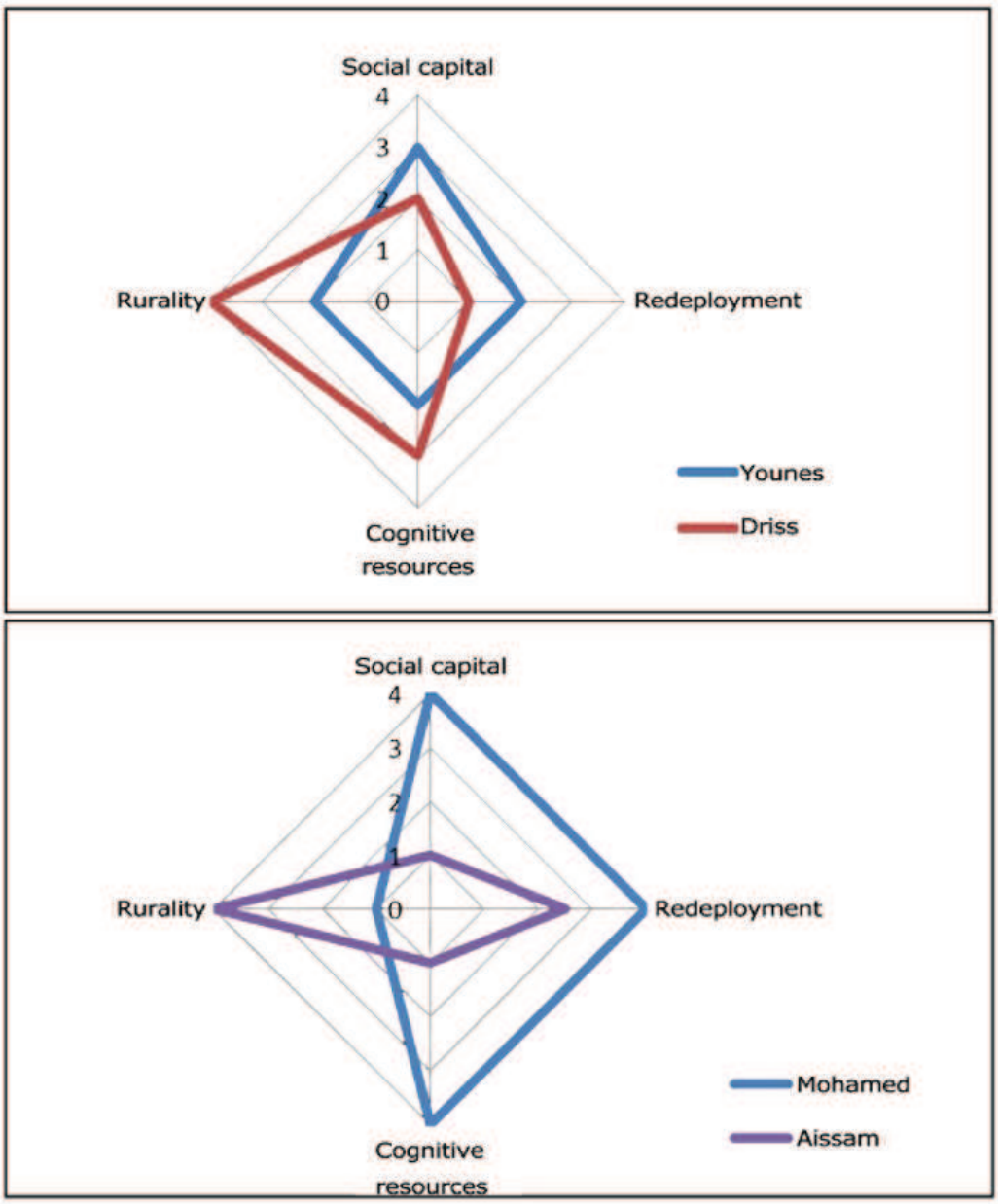

Figure 3 Intra and interpersonal attributes of four non-conventional innovation actors explaining their engagement in drip irrigation.

4. Discussion

4.1 Model of "interessement" versus model of diffusion

We analyzed an innovation in the making in a rural area in Morocco. It was shown how a range of non-conventional innovation intermediaries became involved in drip irrigation, thereby progressively developing an active and inter-related network for the sale, manufacture, fitting, and use of drip irrigation systems. This network challenged an imported technology aimed at large-scale farmers and promoted by drip irrigation companies, and transformed it into three dynamic innovation systems, in which drip irrigation systems were adapted to a wide range of situations, including small-scale farms. In line with Callon's theory of translation, our analysis showed that "*the network dynamic may be considered as a process of extension which is based on the integration of new technical characteristics, new objectives, and new actors*" (Oerlemans and Assouline 2004). Drip irrigation companies initially viewed drip irrigation from a "diffusion model" perspective, i.e. drip irrigation would spread to other farmers by "*virtue of its own qualities*" and "*via its demonstration*" (Akrich, Callon, and Latour 2002). They installed drip irrigation free of charge in some plots of large-scale farmers, expecting them to serve as a role model, and thereby create further demand and business for them. We argue that in practice this model was rapidly replaced by a model of "interessement" (Akrich, Callon, and Latour 2002), where the success of an innovation (its diffusion and adoption) depends on the active participation of all those who are committed to advancing its cause, in the process of which the technology is transformed. This is shown by analyzing the four moments of translation in the innovation process (Callon 1986): 1) problematization or how to become indispensable, 2) devices of 'interessement', 3) enrolment of allies, and 4) mobilization of allies.

The 'problematization' happened initially when irrigation companies introduced drip irrigation to selected large-scale farmers, proclaiming the advantages of drip irrigation, including water use efficiency and improved yields. These companies had the hardware, mostly imported equipment for which they were official representatives, but also the knowledge on how to install drip irrigation systems and to make them work, which, in their view, made them "obligatory passage points" (Callon 1986). The 'devices of interessement' they proposed consisted of equipping small plots free of charge for some large-scale farmers and enrolling them as clients. However, large-scale farmers unlocked the technology rapidly and turned to non-conventional actors to make it work, to repair the equipment, to manufacture certain components of the system, and to install it. Non-conventional actors were provided with many occasions for learning. They progressively replaced the companies and constituted a dense network of local drip irrigation intermediaries, catering to the new demand they were themselves creating.

During the second innovation period, local actors developed alternative drip irrigation systems for small-scale horticultural farmers through a process they qualify as "*bricolage*" (Benouniche, Zwarteveen, and Kuper 2014). The knowledge and know-how of such systems were distributed amongst a large number of actors, and the notion of

becoming "indispensable" did not apply. Drip irrigation intermediaries installed alternative systems in their own plots, or in those of relatives or friends, which thus became 'devices of interessement'. They proved that drip irrigation could work for small-scale farmers, and attracted their attention. This also increased their knowledge and know-how concerning drip irrigation, and established their credibility as drip irrigation specialists. It provided the basis for enrolling small-scale farmers in the drip irrigation world, into which they themselves had been enrolled. We consider 'enrolment', which represents the "*group of multilateral negotiations, trials of strength and tricks that accompany the interessements and enable them to succeed*" (Callon 1986) as a dynamic process through which actors join the process of development, adaptation, fabrication, diffusion, and use of an innovation, thereby accelerating its adoption. New trades emerged, and a set of interrelated roles was defined, in which local drip irrigation intermediaries (retailers, manufacturers, fitters) interacted with large and small-scale farmers, as well as with drip irrigation technology.

Interestingly, during the third innovation period the drip irrigation companies staged a comeback by creating working relations with non-conventional actors, who had acquired sufficient legitimacy to become Callon's "obligatory passage points". Intermediaries were familiar with local conditions and local users while drip irrigation companies were a source of information about new technologies, and subsidy procedures. These actors mobilized each other in their quest to extend their business. They became allies by the reciprocal acceptance of the other being an indispensable spokesman for large and small-scale farmers on the one hand, and the international manufacturers as well as the State, on the other (Akrich, Callon, and Latour 2002). In a way, both the State and the irrigation companies thus validated the second order innovations already experimented in the field, and which had become a credible alternative to imported equipment (Knickel et al. 2009).

4.2 Change and be changed: interplay between non-conventional innovation actors and drip irrigation technology

Drip irrigation companies initially viewed the attributes of drip irrigation essentially in technical terms. The technology would save water, and allow agricultural intensification. These attributes were marketing arguments to attract large-scale farmers, who became their clients. Interestingly, this discourse was later appropriated by the State, which started subsidy programs for drip irrigation. However, for (future) drip irrigation users, local artisans and traders, and innovation intermediaries, the technology also seduced through additional attributes such as the "modernity" associated with those involved in drip irrigation, the rapid diffusion of drip irrigation creating job opportunities, the technicality of drip irrigation appealing to young farmers and local technicians alike, or the possibility to connect through drip irrigation to other socio-professional spheres, which would otherwise remain closed to such actors. These different attributes of drip irrigation led the innovation actors to engage with drip irrigation. We argue that their

commitment induced reciprocal changes in the technology and in their socio-professional status.

Drip irrigation technology adapted by non-conventional innovation actors
It was shown how drip irrigation technology was taken out of the hands of the drip irrigation companies by innovation actors, who adapted the technology to their world: the small plots of small-scale farmers, or the large plots operated by not always qualified laborers. Akrich (1998) showed how users introduce modifications, and change the technology or even the meaning of the innovation as defined by the original designers. During the innovation process, both the technology and the environment in which it is developed and used are no longer controlled by the actor who designed the technology (Beguin 2007).

Dynamic alliances between drip irrigation and non-conventional innovation actors
It was shown how non-conventional innovation actors integrated the drip irrigation world, attracted by specific attributes of the technology, thereby transforming it. But they also changed themselves, and their socio-professional status evolved. We argue that the changes in the socio-professional status particularly concerned the innovation actors who introduced changes in the technology or in the institutions related to drip irrigation, or rather those actors who had the capacity to continually operate changes. During the first period, actors accumulated knowledge and know-how. A local welder, for instance, purchased an expensive imported filter system and dismantled it in order to be able to manufacture his own. In the second innovation period, actors improved their knowledge and know-how by mobilizing materiel objects. In our case, this related to farm plots, which enabled innovation intermediaries to improve their knowledge and know-how, as they installed, adapted and used small-scale drip irrigation systems. Intermediaries who did not have their own farm plots were obliged to install the drip irrigation system directly on plots of customers. They were not entitled to mistakes, and could not consolidate their learning, and were subsequently excluded from the innovation process. During the third period, the formal actors (the State, national irrigation companies) increasingly recognized the knowledge and know-how of local innovation actors. A local actor, with no academic qualification, thus progressed from farm laborer to fitter, and then to retailer. He even obtained a license, as a local representative, from a national irrigation company. In his view, this license is certainly an institutional recognition, albeit not an academic one.

Social capital played an important role in determining the pathways of the non-conventional innovation actors and their socio-professional status. We opted for Bourdieu's viewpoint, whose definition of social capital 1) refers to the network of connections a person can effectively mobilize, and 2) depends on real practices of communication, and is based on mutual cognition and recognition (Siisiäinen 2003). In other words, the knowledge and know-how of innovation intermediaries only exist in the 'eyes of the others'. This is how a local retailer who continuously invested in

developing his business reputation became a major player in drip irrigation in our study area. De Carolis and Saparito (2006) consider that social capital can facilitate access to information, enhancing the timing, relevance, and quality of information. This explains why some people and not others exploit opportunities. In our case, the innovation intermediaries invested considerably in developing networks that would keep them informed on new practices, technologies, and institutions.

Conclusion

It was shown how an innovation seduced and enrolled non-conventional actors in the process of diffusion of innovation. We conclude that the diffusion of an innovation does not rely solely on the attributes envisaged by the original designers and researchers. In actual use, the innovation may have other attributes that explain its adoption by actors, but also the enrolment of innovation intermediaries and local artisans and traders. In the case of drip irrigation, the aura of modernity, and opportunities for professional promotion or recognition, enrolled these non-conventional innovation actors. They became objective allies who provided local support to drip irrigation users, accelerating the diffusion of the innovation. This study contributed to the debate on understanding the individual motivations of non-conventional innovation actors in agricultural innovation systems. Understanding these motivations is important to apprehend the multiple pathways of the innovation process, and of the innovation actors. In a next step, it would be interesting to analyze the dynamic interactions between these different non-conventional innovation actors, as they change not only the technology, but also change their own socio-professional status and that of other innovation actors through extended socio-technical networks. From an exclusive imported technology concerning only a small minority of large-scale farmers, drip irrigation became an inclusive innovation, accessible to a wide range of actors. The diffusion of drip irrigation is thus explained by its power of seduction for local actors. Once seduced, these actors move up the social ladder, and become not only vectors of innovation, but also the creators of new technical professions. The successful diffusion of drip simultaneously ensures their social and professional advancement, and they in turn seduce others as they go. It is worth considering integrating these actors in state programs and other planned innovation processes, such as the large-scale, often State-led, on-going irrigation projects in many countries around the world. Often considered 'unprofessional' or even impostors, we conclude that non-conventional innovation should be considered as allies in such innovation processes. They are near to field realities and to the users of the innovation. They are also able to adapt a technology while accounting to local requirements. Considering them allies will motivate such actors, often interested in institutional recognition, to be active in the field.

Acknowledgments

This study was conducted in the framework of the DRiP (Drip Realities in Perspectives; WOTRO), and the Groundwater ARENA projects (ANR CEP S 11/09).

References

Akrich, M. 1998. Les utilisateurs, acteurs de l'innovation. *Education permanente* 134: 79-89.

Akrich, M., M. Callon, and B. Latour. 2002. The key to success in innovation part I: the art of interessement. *International Journal of Innovation Management* 6 (02): 187-206.

Ameur, F., M. F. Hamamouche, M. Kuper, and M. Benouniche. 2013. La domestication d'une innovation technique : analyse de la diffusion du goutte à goutte dans deux douars au Maroc. *Cahiers Agricultures* 22 (4): 311-318.

Béguin, P. 2008. Innovation et cadre sociocognitif des interactions concepteurs-opérateurs: une approche développementale. *Le travail humain* 70 (4): 369-390.

Benouniche, M., M. Zwarteveen, and M. Kuper. 2014.'Bricolage' as innovation: opening the black box of drip irrigation systems. *Irrigation and Drainage*. DOI: 10.1002/ird.1854

Bourdieu, P. 1980. Le capital social. *Actes de la recherche en sciences sociales* 31: 2-3.

Callon, M. 1986. "Some elements of a sociology of translation: domestication of the scallops and the fishermen of St Brieuc Bay". In *Power, action and belief: a new sociology of knowledge?*, edited by J. Law, 196-223. London: Routledge.

Cornish, G.A. 1998. Pressurised irrigation technologies for smallholders in developing countries – a review. *Irrigation and Drainage Systems* 12: 185–201.

De Carolis, D. M., and P. Saparito. 2006. Social capital, cognition, and entrepreneurial opportunities: A theoretical framework. *Entrepreneurship Theory and Practice* 30 (1): 41-56.

Edquist, C. 2005. "Systems of innovation". In *The Oxford handbook of innovation*, edited by J. Fagerberg, D. C. Mowery, R. R. Nelson, 181-208. New York: Oxford University Press.

Friederichsen, R., T.T. Minh, A. Neef, and V. Hoffmann. 2013. Adapting the innovation systems approach to agricultural development in Vietnam: challenges to the public extension service. *Agriculture and Human Values* 30: 555–568.

Howells, J. 2006. Intermediation and the role of intermediaries in innovation. *Research Policy* 35 (5): 715-728.

Kilelu, C. W., L. Klerkx, and C. Leeuwis. 2013. How dynamics of Learning are Linked to Innovation Support Services: Insights from a Smallholder Commercialization Project in Kenya. *The Journal of Agricultural Education and Extension* (ahead-of-print): 1-20. DOI: 10.1080/1389224X.2013.823876

Klerkx, L., and C. Leeuwis. 2008. Matching demand and supply in the agricultural knowledge infrastructure: Experiences with innovation intermediaries. *Food Policy* 33 (3): 260-276.

Klerkx, L. and C. Leeuwis. 2009. Establishment and embedding of innovation brokers at different innovation system levels: Insights from the Dutch agricultural sector. *Technological Forecasting and Social Change* 76 (6): 849-860.

Knickel, K., G. Brunori, S. Rand, and J. Proost. 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.

Laschewski, L., J. Phillipson, and M. Gorton. 2002. The facilitation and formalisation of small business networks: evidence from the North East of England, Environ. *Planning C: Government and Policy* 20 (3): 375–391.
Nahapiet, J., and S. Ghoshal. 1998. Social Capital, Intellectual Capital, and the Organizational Advantage. *The Academy of Management Review* 23 (2): 242-266.
Oerlemans, N., and G. Assouline. 2004. Enhancing farmers' networking strategies for sustainable development. *Journal of Cleaner Production* 12 (5): 469-478.
Ortiz, O., R. Orrego, W. Pradel, P. Gildemacher, R. Castillo, R. Otiniano, and I. Kahiu. 2013. Insights into potato innovation systems in Bolivia, Ethiopia, Peru and Uganda. *Agricultural Systems* 114: 73-83.
Poncet, J., M. Kuper, and J. Chiche. 2010. Wandering off the paths of planned innovation: The role of formal and informal intermediaries in a large-scale irrigation scheme in Morocco. *Agricultural Systems* 103 (4): 171-179.
Siisiainen, M. 2003. Two concepts of social capital: Bourdieu vs. Putnam. *International Journal of Contemporary Sociology* 40 (2): 183-204.
Spielman, D. J. 2005. Innovation systems perspectives on developing-country agriculture: A critical review. *International food policy research institute (IFPRI).* International service for national agricultural research (ISNAR) division.
Spielman, D. J., J. Ekboir, and K. Davis. 2009. The art and science of innovation systems inquiry: applications to Sub-Saharan African agriculture. *Technology in Society* 31 (4): 399-405.

Chapitre 6. Conclusion générale : Le goutte à goutte, une innovation portée par plusieurs acteurs où l'économie d'eau parait une mystification

La conclusion de cette thèse est un moment analytique qui ne se limite pas à la synthèse des résultats récapitulés lors de la conclusion de chaque chapitre. Nous tentons de dépasser ces conclusions, en réfléchissant aux implications des principaux résultats de cette thèse et en formulant des perspectives. Nous rappelons que notre question principale de thèse est : Comment la pratique de l'innovation technique qu'est le goutte à goutte a changé à la fois la technologie et les trajectoires socio-professionnelles des acteurs impliqués, et quel est l'impact sur les efficiences d'irrigation ?

Nous aborderons notre conclusion à travers deux résultats principaux de notre thèse : 1) les changements réciproques de la technologie du goutte à goutte, adaptée localement à travers le *bricolage* par les acteurs responsables de la production, de l'utilisation et la diffusion du goutte à goutte pour être en adéquation avec les attentes du plus grand nombre d'utilisateurs, et inversement les changements du statut et des trajectoire socioprofessionnelles de ces acteurs, et 2) la place du concept d'économie d'eau dans cette aventure humaine et technologique que constitue le développement d'un goutte à goutte que nous avons appelé « de proximité ». Nous terminons par nous interroger sur les perspectives de l'utilisation du goutte à goutte et la pression sur les ressources en eau, pour relancer le débat de l'économie d'eau sur des termes plus ancrés dans les réalités d'utilisation telles que nous avons pu les observer. L'idée est bien d'attirer l'attention des décideurs politiques et d'enrichir le débat scientifique.

Dans le cadre de notre thèse, nous avons démontré que des acteurs locaux à travers des processus qu'ils qualifient eux-mêmes de *bricolage* ont su développer une pluralité de systèmes de goutte à goutte adaptés au plus grand nombre d'utilisateurs (cf. chapitre 3). En ouvrant la boite noire du goutte à goutte, les agriculteurs, les installateurs locaux, soudeurs, revendeurs… n'ont pas seulement façonné un goutte à goutte de proximité à des prix abordables, mais ils se sont appropriés la technique. En effet, le dimensionnement technique et l'installation ne nécessitent plus la présence de l'ingénieur , alors que les acteurs locaux non-conventionnels sont capables de dimensionner eux-mêmes le goutte à goutte, et sont sollicités par les grands et les petits agriculteurs. Même les standards du goutte à goutte, qui étaient auparavant définis par les ingénieurs et documentés dans des normes ISO, sont remis en cause actuellement par les acteurs non-conventionnels (Installateurs locaux, revendeurs de matériel d'irrigation et les soudeurs) et adaptés aux situations locales.

Nous concluons que le terme de *bricolage* est approprié pour d'expliquer les processus de changement technologique, en particulier pour une innovation technique en train de se faire (Akrich et al. 1988). Prendre conscience de l'existence du *bricolage* signifie reconnaître que ces processus d'innovation ne sont pas simples, linéaires et rationnels où les utilisateurs (dans notre cas les agriculteurs) apprennent progressivement

comment utiliser une nouvelle technologie selon le cahier des charges (et les normes) définis par des ingénieurs. Elle montre que - au contraire - l'innovation est un processus complexe, largement imprévisible et créatif qui consiste en interactions et négociations itératives entre agriculteurs, ingénieurs et de nombreux autres acteurs. Ce processus peut conduire à de nouvelles normes, évolutives et situées, de la technologie, voire même à l'institutionnalisation de *bricolage*. Cependant, nous pensons que cette dernière question mérite davantage de débat.

Le *bricolage* est présent sur le terrain et d'une manière intensive, à travers le bricolage, nous avons aujourd'hui un goutte à goutte « populaire » qui répond aux besoins de différents profils d'agriculteurs. L'institutionnaliser c'est admettre que la technique telle que conçue par l'ingénieur n'est pas toujours la solution idéale ; elle peut être modifiée et adaptée en fonction des conditions d'utilisateurs et d'usages. La technique n'est pas une boite fermée, elle peut être adaptée pour qu'elle fonctionne. La technique d'irrigation au goutte à goutte est un très bon exemple pour illustrer ce point, c'est une technique qui se prête au bricolage, d'où son succès. En même temps, au terme de notre travail, nous nous interrogeons s'il ne faut pas laisser ce monde réactif, créatif et adaptatif dans sa configuration actuelle, car c'est cela ce qui assure son succès. Cependant, ce monde informel connaît aussi de nombreuses fragilités, y compris l'exclusion d'un certain nombre d'agriculteurs n'ayant pas les moyens d'accéder à l'eau, aussi cela cause une pression en constante augmentation sur les ressources naturelles et des déséquilibres économiques (Errahj, 2009).

Comprendre l'innovation technique comme *bricolage* détourne l'attention de la technologie elle-même vers les pratiques par lesquelles les différents acteurs mobilisent des idées, matériaux et d'autres acteurs pour adapter la nouvelle technologie à leurs situations spécifiques pour que « cela marche » pour eux. Plutôt que de prendre la conception « officielle » comme norme à laquelle les systèmes d'irrigation au goutte à goutte, qui ont été l'objet de *bricolage*, sont mesurées et jugées, la notion de *bricolage* reconnaît ainsi que les technologies ont toujours besoin de modifications et d'adaptations pour les utiliser dans des contextes spécifiques et pour des utilisateurs particuliers.

Le goutte à goutte est une technique qui se prête au bricolage. Aujourd'hui dans le Saîss, il est difficile et même impossible de dissocier le goutte à goutte du bricolage ; de même il est impossible d'évoquer la technique d'irrigation au goutte à goutte sans se référer au bricolage et par la même aux acteurs non conventionnels. Nous nous sommes alors posé la question inéluctable sur la place et l'avenir de l'ingénieur dans le monde du goutte à goutte dominé par des processus de bricolage, en lien avec notre propre engagement scientifique. Nous admettons qu'aujourd'hui l'ingénieur devrait accepter et surtout intégrer le processus de bricolage d'une manière formelle ; oser l'admettre dans la communauté d'ingénieurs, permet de considérer le *bricolage* comme un processus d'apprentissage graduel de la technique, et plus généralement, permettant d' « apprivoiser » le changement. L'ingénieur doit admettre que le *bricolage* a joué un

rôle important dans le succès du goutte à goutte, succès qu'il l'a rendu populaire auprès des utilisateurs, non pas seulement grâce aux caractéristiques techniques tel que conçues par l'ingénieur, mais par toutes les adaptations introduites sur le goutte à goutte durant les trois instances du bricolage que nous avons décrites (Cf. Chapitre 3). Sur le terrain, les ingénieurs ressentent parfois le danger d'être exclus du système, et collaborent mais d'une manière informelle avec les acteurs non-conventionnels (Cf. Chapitre 3) de peur d'être rejetés par leurs pairs. Notre travail prolonge la réflexion entreprise par Paul Pascon et d'autres sur la place d'ingénieur dans le développement rural. Dans le rural marocain pour l'ingénieur « *la découverte qu'on s'est adonné au bricolage, c'est la vraie misère de l'âme ! Seule la majorité très silencieuse des villageois pourrait lui en avoir quelque gratitude,…., mais l'ingénieur n'a aucune indulgence à attendre de la plupart de ses collègues : l'accusation de bricolage disqualifie* » (Pascon, 1980). Il est important que la communauté d'ingénieurs accepte le *bricolage* comme un processus d'apprentissage et d'adaptation pour éviter de concevoir des installations non fonctionnelles et non adaptées, et non pas tomber dans le piège de préserver l'ingénieur professionnellement intact, voir triomphant comme le dit si bien Pascon (1980). Mais son prestige et sa gloire ne seront-ils pas grands si la technique est adaptée aux conditions de ses utilisateurs ? N'était-elle pas la finalité attendue par la communauté d'ingénieurs ? A travers notre travail de recherche, nous avons démontré qu'avec le bricolage, les acteurs locaux ont ainsi pris le contrôle de l'innovation et prennent des responsabilités dans des domaines que l'on pensait réservés aux ingénieurs. Nous concluons sur la base des exemples que nous avons décryptés dans le chapitre 3 que de tels processus d'innovation nécessitent à la fois des contributions de l'ingénieur apportant des connaissances spécialisées sur les relations plante-eau-sol et le fonctionnement hydraulique des systèmes d'irrigation, et des contributions d'acteurs locaux avec la connaissance des situations particulières des utilisateurs. Le *Bricolage* entraîne donc et dépend d'alliances négociées entre les ingénieurs et les agriculteurs, sans oublier les autres acteurs locaux.

Nous avons démontré comment la pratique de l'innovation technique qu'est le goutte à goutte a changé à la fois la technologie et les trajectoires socioprofessionnelles des acteurs impliqués. La technique d'irrigation au goutte à goutte en pratique a pu séduire un nombre important d'acteurs et les a enrôlé dans le processus de diffusion de l'innovation technique (Cf. Chapitre 5). L'enrôlement dans le monde du goutte à goutte s'opère grâce aux différents attributs que cette technique offre , contrairement aux autres techniques d'irrigation comme le gravitaire et l'aspersion Ces attributs ne sont pas liés uniquement aux caractéristiques techniques du goutte à goutte, mais représentent pour les acteurs : la modernité, l'intensification agricole, la technicité, le progrès et l'évolution socioprofessionnelle. Ils ont attiré des acteurs non-conventionnels (installateurs locaux, revendeurs locaux, et les soudeurs) dans le monde du goutte à goutte. Dans un premier temps, ils étaient obligés d'apprendre à faire fonctionner l'innovation technique, et l'adapter, ce qui a donné lieu à une période ou une phase de « connaissance » entre le goutte à goutte et les acteurs non conventionnels. Cette mise en contact a dévoilé les attributs du goutte à goutte pour ces acteurs, ils ont alors pris en

main la production, l'utilisation et la diffusion de la technique d'irrigation au goutte à goutte et en même temps évolué dans leurs trajectoires socioprofessionnelles. La production, l'utilisation et la diffusion sont portées essentiellement par ces acteurs non-conventionnels. Ils sont devenus des alliés objectifs dans le sens d'Akrich : ils ont en effet fourni un soutien local aux utilisateurs d'irrigation goutte à goutte, tout en accélérant la diffusion de l'innovation. Notre étude a contribué au débat sur la compréhension des motivations individuelles des acteurs de l'innovation non-conventionnels dans les systèmes d'innovation agricole. La compréhension de ces motivations est importante afin d'appréhender les multiples trajectoires des processus d'innovation, et des acteurs de l'innovation. Dans une prochaine étape, il serait intéressant d'analyser les interactions dynamiques entre ces différents acteurs non-conventionnels de l'innovation, car ils changent non seulement la technologie, mais changent aussi de statut socioprofessionnel tout en attirant d'autres acteurs vers cette innovation technique à travers les réseaux sociotechniques. D'une technologie importée exclusive accessible seulement pour une petite minorité de grands agriculteurs, l'irrigation au goutte à goutte est devenue une innovation inclusive, accessible à un large éventail d'acteurs. La diffusion de l'irrigation au goutte à goutte est ainsi expliquée par son pouvoir de séduction pour les acteurs locaux. Une fois séduits, ces acteurs se déplacent dans l'échelle sociale, et deviennent non seulement des vecteurs de l'innovation, mais aussi les créateurs de nouvelles professions techniques. La diffusion réussie de goutte à goutte assure simultanément leur promotion sociale et professionnelle, et à leur tour ils vont attirer d'autres utilisateurs dans le monde du goutte à goutte. C'est là où se résume la force du goutte à goutte comme objet technique autour duquel de puissants réseaux sociotechniques se sont construits. C'est à ces réseaux que revient essentiellement le succès du goutte à goutte dans le Saiss. Nous concluons qu'il est utile d'envisager l'intégration de ces acteurs dans les programmes de l'État et d'autres processus d'innovation planifiés, par exemple dans la grande hydraulique.

Nous avons démontré que l'économie d'eau à travers la mise en place de l'irrigation localisée reste un projet et un objectif séduisants pour un grand nombre d'acteurs. C'est le cas à l'échelle internationale comme en témoigne les différentes publications jubilantes dans des revues de référence sur la contribution supposée du goutte à goutte pour régler les grandes crises d'eau (e.g. Bourzac, 2013). C'est le cas aussi des différents Etats qui subventionnent le goutte à goutte dans un objectif affiché d'économie d'eau. Nous avons montré dans cette thèse que non seulement cet objectif semble irréalisable pour le moment, mais que cet objectif ne semble prioritaire pour aucun des acteurs, y compris l'Etat (qui subventionne) (cf. chapitre 4). Des objectifs comme l'intensification, le statut social et l'obtention de produits de qualité sont aujourd'hui davantage associés au goutte à goutte. Il paraît ainsi que la notion d'économie d'eau dans le Programme National d'Economie d'Eau en Irrigation se réfère davantage à un objectif de productivité agricole qu'à une diminution de l'utilisation des ressources en eau (Benouniche et al.,2014b). Cela peut être confirmé par le fait qu'à partir de 2008, le PNEEI intègre le Plan Maroc Vert et s'inscrit dans les mesures transverses de ce plan.

D'après le MAPM, le PNEEI « *vise… à atténuer la contrainte hydrique, considérée comme le principal facteur limitant l'amélioration de la productivité agricole* ». La mise en place du PNEEI a donc pour objectif essentiel l'extension des superficies irriguées en goutte à goutte et à travers cela l'intensification agricole : *« Aujourd'hui, on encourage l'adoption du goutte à goutte pour augmenter la productivité, l'économie d'eau viendra après »* (responsable au Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, 2014).

De ce fait, l'économie d'eau ne semble jamais été l'objectif principal pour l'Etat pour la promotion du goutte à goutte au Maroc. Actuellement, elle ne figure ni parmi les priorités du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, ni parmi ceux qui sont en charge du suivi du PNEEI « *L'économie d'eau est un processus très long, maintenant on est en train de donner le matériel d'irrigation, l'économie d'eau viendra après, on peut inciter les agriculteurs par la suite à contrôler les apports et les prélèvements d'eau* » (responsable au Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, 2014). Ceci montre que le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime accorde un intérêt particulier à l'équipement des superficies en goutte à goutte pour augmenter la productivité agricole ; pour le moment l'économie d'eau n'a pas de place dans les priorités de l'Etat. En témoigne le seul indicateur régulièrement présenté par des responsables du Ministère en charge de l'Agriculture : la superficie équipée en goutte à goutte.

Sur le terrain, la technique d'irrigation au goutte à goutte connait un engouement auprès des agriculteurs. Cet enthousiasme pour l'irrigation au goutte à goutte ne semble pas non plus lié à l'objectif affiché d'économie d'eau, mais essentiellement aux avantages et acquis que le goutte à goutte a pu apporter à ces acteurs. En effet, avec le goutte à goutte, les agriculteurs se voient comme « des agriculteurs modernes » capables d'augmenter les rendements et d'avoir des produits de haute qualité. Avec cette technique, certains agriculteurs ont vu leur statut social s'améliorer et ont acquis des connaissances dans le but de jouer un rôle dans le secteur de soutien de l'irrigation au goutte à goutte (conseillers, installateurs, revendeurs). Pour le moment l'économie d'eau reste un objectif de façade pour continuer à promouvoir le goutte à goutte et à servir les intérêts des acteurs impliqués dans le monde du goutte à goutte (Etat, ingénieurs des bureaux d'étude, intermédiaires locaux, revendeurs et fabricants de matériel d'irrigation localisée : sociétés ou fabricant local).

L'économie d'eau est mobilisée comme un mot magique pour justifier la promotion du goutte à goutte, essentiellement les subventions. Le succès du goutte à goutte est souvent présenté dans les discours et les statistiques officiels par rapport aux superficies équipées et non pas au volume d'eau économisée. En effet, aucun chiffre n'est avancé sur les volumes d'eau économisés depuis le lancement des programmes de subvention. *« On n'a pas de chiffres réels concernant l'économie d'eau. Nous allons bientôt faire une évaluation du PNEEI, concernant les aspects de performances, efficiences et qualité des installations. C'est une évaluation qui reste stratégique, de bureau, essentiellement pour défendre le budget et attirer d'autres sources de financement, tu sais très bien que l'évaluation de terrain coûte du temps et de l'argent »* (Responsable au

Ministère en charge de l'Agriculture, 2014). Par ailleurs, les superficies équipées sont toujours mises en avant pour montrer le succès du programme. D'après le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime (2014), la superficie totale équipée en goutte à goutte à la fin de 2013 est estimée à 359 850 ha, ce qui correspond à environ 25% de la superficie irriguée du Maroc.

En termes de perspectives, nous aimerions revenir sur la durabilité des ressources en eau en agriculture. En effet nous avons montré tout au long de notre recherche que la technique d'irrigation au goutte à goutte telle que promue et utilisée actuellement, n'est pas liée essentiellement à l'économie d'eau, ce concept étant perdu de vue. Nous avons montré qu'avec cette technique, certains agriculteurs irriguent 3 à 4 fois plus que les volumes nécessaires aux besoins de la culture. Ceci concerne essentiellement les grands agriculteurs (Benouniche et al.,2014a). Aujourd'hui, il serait important de revenir sur ce concept d'économie d'eau, et de mobiliser d'autres moyens, d'autres acteurs et d'élargir le champ de vision au-delà de la technique, car en ce moment réaliser l'économie d'eau à travers le goutte-à-goutte reste une mission impossible. Il serait intéressant de mobiliser les acteurs non-conventionnels et tirer profit de leurs expériences mais aussi de leurs connaissances du terrain, ils ont montré leur capacité de fournir et de rendre la technique d'irrigation au goutte à goutte populaire. Ce sont les acteurs clés qu'il faut considérer comme des alliés (Akrich et al, 1988) et sur lesquels il serait sans doute intéressant de s'appuyer pour intégrer le concept d'économie d'eau sur le terrain auprès des utilisateurs.

Références

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).

Bourzac, K. (2013). Water: The flow of technology. *Nature*, *501*(7468), 4-6.

Benouniche M, Kuper M, Hammani A, Boesveld H. (2014a). Making the user visible: analysing irrigation practices and farmers' logic to explain actual drip irrigation performance. *Irrigation Science* **32**(6): 405-420.

Benouniche, M., Kuper, M., & Hammani, A. (2014b). Mener le goutte à goutte à l'économie d'eau: ambition réaliste ou poursuite d'une chimère ?. *Alternatives Rurales,* Sous presse.

Errahj, M., Kuper, M., Faysse, N., & Djebbara, M. (2009). Finding a way to legality, local coordination modes and public policies in large-scale irrigation schemes in Algeria and Morocco. *Irrigation and Drainage*, *58*(S3), 358- 369

Pascon, P. (1980). Le technicien entre les bavures et le bricolage. *Etudes rurales. Idées et enquêtes sur la campagne marocaine. Société marocaine des éditeurs réunis*, 3-12.

La liste des figures Chapitre 1

Figure 1. Evolution des superficies équipées cumulées et annuellement en goutte à goutte au Maroc (source : Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, 2014).

Figure 2. Un modèle heuristique de recherche en pratique (source : Blackmore et al., 2007 ; Checkland, 1999).

Figure 3. Cadre d'analyse de la thèse

La liste des figures Chapitre 2

Figure 1. Développement des installations de goutte-à-goutte à travers les programmes étatiques et les initiatives locales dans le Gharb.

Figure 2. Superficies équipées en irrigation au goutte-à-goutte et nombre de dossiers de subvention dans le Gharb entre 1986 et 2009

La liste des figures Chapitre 3

Figure 1. Three instances of bricolage which explain the diffusion of drip irrigation in the Saiss.

La liste des figures Chapitre 4

Figure 1 Irrigation volumes compared to net irrigation water requirements (both in mm) on a plot of onions on Fatima's farm

Figure 2 Irrigation applications compared to net irrigation water requirements (both in mm) on a plot of onions on Monim's farm

Figure 3 Classification of groups of farmers based on the logic behind their irrigation practices to explain irrigation performances (irrigation efficiency and coefficient of distribution, both in %).

Figure 4 Interactions between the different groups of farmers related to drip irrigation and agricultural practices

La liste des figures Chapitre 5

Figure 1 Increase in the area equipped with drip irrigation in two villages in three successive innovation periods.

Figure 2 Involvement of non-conventional actors in the diffusion of drip irrigation in three different socio-technical systems.

Figure 3 Intra and interpersonal attributes of four non-conventional innovation actors explaining their engagement in drip irrigation.

La liste des tableaux Chapitre 4

Table 1. Characteristics of the different groups of sample farms and sample plots.

Table 2. Irrigation performance (irrigation efficiency, distribution uniformity), and yields obtained by different sample farmers on 22 plots, as compared to the irrigation practices and the characteristics of the drip irrigation systems of different farmers' groups.

Table 3. The underlying logic of different groups of farmers operating drip irrigation systems.

La liste des tableaux Chapitre 5

Table 1 Professional activities, functions, motivations of four innovation actors, in relation to the attributes of drip irrigation systems.

Production scientifique en lien avec la thèse

Ameur F, Hamamouche MF, Kuper M, Benouniche M (2013) La domestication d'une innovation technique : analyse de la diffusion du goutte à goutte dans deux douars au Maroc. Cah Agric 22(4): 311-318

Benouniche, M. (2008). Étude de la reconversion collective de secteurs irrigués dans le perimeter du Gharb: logiques d'acteurs et choix techniques. Master en irrigation et maîtrise de l'eau CRESA. Rabat, Maroc.

Benouniche, M., Kuper, M., Poncet, J., Hartani, T., & Hammani, A. (2011). Quand les petites exploitations adoptent le goutte-à-goutte: initiatives locales et programmes étatiques dans le Gharb (Maroc). *Cahiers Agricultures* ,20, 40–47.

Benouniche M, Kuper M, Hammani A, Boesveld H. 2014. Making the user visible: analysing irrigation practices and farmers' logic to explain actual drip irrigation performance. *Irrigation Science* **32**(6): 405-420.

Benouniche, M., M. Zwarteveen, and M. Kuper. 2014.'Bricolage' as innovation: opening the black box of drip irrigation systems. *Irrigation and Drainage*. DOI: 10.1002/ird.1854

Benouniche M., Errahj M., & Kuper M. 2014. The seductive power of an innovation: enrolling non-conventional actors in a drip irrigation community in Morocco. *The Journal of Agricultural Education and Extension*. DOI: 10.1080/1389224X.2014.977307.

Benouniche, M., Kuper, M., & Hammani, A. 2014. Mener le goutte à goutte à l'économie d'eau: ambition réaliste ou poursuite d'une chimère ? *Alternatives Rurales,* Sous presse.

Venot, J. P., Zwarteveen, M., Kuper, M., Boesveld, H., Bossenbroek, L., Kooij, S. van der, ... & Verma, S. (2014). Beyond the promises of technology: a review of the discourses and actors who make drip irrigation. Irrigation and Drainage, 63(2), 186-194.