



Fondation pour l'agriculture
et la ruralité dans le monde
RECONNUE D'UTILITE PUBLIQUE

Billy Troy (FARM)

Calypso Picaud (AgroParisTech)

Mieux gérer l'eau par des pratiques agricoles innovantes : quelles perspectives dans les pays en développement ?

Une revue des expériences de semis direct sur couverture végétale (SCV), système de riziculture intensive (SRI), zaï et irrigation au goutte-à-goutte

Mars 2013



Edition 2013

Fondation pour l'agriculture et la ruralité dans le monde

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier l'ensemble des personnes rencontrées et interviewées dans le cadre de cette étude et qui ont pris le temps de partager leurs expériences et leurs avis sur ce sujet très large, en particulier Patrick Dugué (CIRAD, UMR Innovation), Patrice Djamen (ACT), Pierre Ferrand et Lucie Reynaud (GRET), Hervé Léville (Centre de Coordination des Ressources en Eau de la CEDEAO), Krishna Naudin (CIRAD Persyst, UPR SCA), Oumar Niangado (Fondation Syngenta), Dominique Rollin, Patrick Rosique et Jean-Claude Mailhol (IRSTEA, UMR G-eau), Laurent Stravato et Aïda Ganaba (IDE Burkina Faso), Kokou Zotoglo (USAID/ATP).

Les auteurs remercient également les membres de l'équipe FARM pour leur appui dans l'élaboration de ce rapport.

Les analyses et les conclusions des auteurs ne reflètent pas nécessairement la position institutionnelle de FARM ni celle d'AgroParisTech.

Résumé

Des épisodes de sécheresse récents, comme en 2011 dans la corne de l'Afrique et en 2012 au Sahel, ont eu des conséquences très lourdes sur la production agricole dans ces régions et sur la sécurité alimentaire des populations. Ils sont venus rappeler l'importance de la gestion de l'eau dans l'équation alimentaire mondiale.

Ainsi, certaines pratiques agricoles sont fréquemment présentées comme un outil important d'une meilleure gestion de l'eau. Cependant certaines de ces techniques sont soit récentes, soit ont connu récemment un développement à plus grande échelle. De ce fait, l'impact de la mise en œuvre de ces techniques sur l'eau et pour d'autres enjeux (agro-économiques, sociaux) fait l'objet d'une documentation parfois limitée ou prêtant à discussion ou à controverse. De plus, ces techniques ne sont pas applicables dans tous les contextes.

L'objectif de cette étude est donc de faire un point sur les connaissances disponibles sur le potentiel de ces techniques pour une meilleure gestion de l'eau, tout en s'attachant aux contextes locaux de diffusion et d'adoption dans les pays en développement. Quatre techniques sont considérées : le zaï, le semis direct sur couverture végétale (SCV), le système de riziculture intensive (SRI) et l'irrigation au goutte-à-goutte. L'étude ne représente pas de façon exhaustive l'ensemble des expériences, recherches et rapports touchant à ces pratiques, ni l'ensemble des régions dans lesquelles ces techniques sont mises en œuvre. Ce rapport est centré sur les exploitations familiales petites et moyennes dans les pays en développement et plus particulièrement sur le continent africain.

Le zaï, une pratique traditionnelle permettant la collecte de l'eau

Le zaï est une pratique traditionnelle du nord du Burkina Faso. Il est mis en œuvre dans la zone frontalière du Burkina Faso avec le Mali et le Niger, pour la culture du mil et du sorgho. Cette pratique repose sur le creusement de poquets et l'apport de fumure organique localisée sur des terres dégradées et compactées. La mise en œuvre du zaï permet une production agricole sur des terres considérées comme infertiles, voire une réhabilitation à terme de la terre. L'eau qui habituellement ruisselle, est collectée grâce au creusement d'un poquet, l'apport de matière organique et la décompaction du sol (termites et travail du sol). Certains résultats montrent que le zaï permet de capter 25 % du ruissellement issu de la zone d'impluvium. Cela permet d'augmenter le stock d'eau disponible pour la plante et d'augmenter les rendements obtenus. Au Burkina Faso et au Niger, des travaux ont ainsi montré un passage de la gamme 0-600 kg/ha à la gamme 500 - 1200 kg/ha sur des cultures de mil et de sorgho, avec des augmentations de 60 à 120 %, voire plus si les terres n'étaient plus cultivées. L'apport en fumure organique et la combinaison avec d'autres techniques de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux) permet d'obtenir les rendements les plus élevés. Au Niger, des études ont constaté une augmentation de la productivité de l'eau de 85 % en moyenne pour des cultures de mil.

La limite principale de cette technique est le besoin important en main d'œuvre, estimé par certaines études entre 300 et 800 heures par hectare, alors que le creusement se fait lors de la saison sèche, période où la main d'œuvre est peu disponible. Le zaï mécanisé, à traction animale, semble obtenir de bons résultats et réduire considérablement le temps de travail (30 à 80 heures par hectare), mais demande de posséder des animaux de trait. Par ailleurs, le zaï nécessite une quantité importante de fumier, qui contribue pour une grande part à l'augmentation de la production. Or le zaï se pratique dans des régions où la disponibilité en fumure organique peut être limitée.

Le zaï a été « redécouvert » par certains agriculteurs et ONG qui, dans les années 1980, ont appliqué cette pratique sur des terres dégradées. Des agriculteurs « innovateurs » ont permis de faire connaître cette technique au Burkina Faso en créant des associations et des « Farmer Field School », ce qui a permis de toucher un grand nombre de producteurs.

Le semis direct sur couverture végétale (SCV)

Le SCV est basé sur trois principes : un travail de la terre minimal, une couverture végétale permanente du sol et une rotation des cultures. Cette pratique, dont l'origine vient des mesures antiérosives nées aux États Unis suite au « Dust Bowl » des années 1930, est aujourd'hui présente sur tous les continents. Une diffusion importante a eu lieu en Amérique du Nord, en Amérique du Sud et en Océanie. Les principales cultures concernées sont les céréales (notamment maïs, blé, riz, sorgho), les oléagineux (notamment soja et colza) et le coton.

La présence d'un couvert végétal et l'absence de labour peuvent permettre de diminuer l'érosion, mais aussi d'augmenter le stock d'eau du sol disponible pour la plante par différents processus : diminution du ruissellement, meilleure infiltration, évaporation réduite, absence de croûte de battance et de semelle de labour qui augmente la profondeur de sol exploité par les racines de la plante, et limitation des pertes en eau du sol provoquées par le labour. Ainsi, sur des cultures de coton au Cameroun, une diminution du ruissellement de 48 % et une augmentation de l'humidité du sol de 0,05 % dans l'horizon 0-100 cm ont été relevées. Toutefois la portée de ces résultats doit être nuancée : pour certains climats pour lesquels le stock d'eau du sol est faible, une plante de couverture peut, par son besoin propre en eau, diminuer l'eau disponible pour la culture principale. D'autre part, certains sols peu drainants peuvent subir un engorgement en conséquence de la meilleure rétention de l'eau dans le sol liée au SCV.

Le risque d'une baisse des rendements dans les 5 premières années de culture en SCV est souvent avancé. Dans les faits, les résultats sont variables : des expériences montrent des augmentations de rendement, d'autres des baisses. Les écarts peuvent être supérieurs à une tonne par hectare de céréales dans un sens ou dans l'autre. Il s'agit toutefois de noter que certaines expériences montrent des rendements supérieurs en SCV en condition de faible pluviométrie, ce qui tendrait à confirmer l'impact positif du SCV sur le stockage de l'eau dans le sol. De plus, il existe également un consensus sur le fait que le SCV permette des bénéfices à long terme (à partir de 10 ans) concernant le rendement (stabilisation voire augmentation). Cependant il semble exister trop peu d'expériences sur un horizon temporel aussi long pour permettre de confirmer clairement ce point. En termes de productivité de l'eau, certaines études indiquent des augmentations allant de 10 à 150 % grâce au SCV.

L'absence de labour entraîne une diminution du temps de travail et de consommation d'énergie. Cependant, le temps de travail sur l'ensemble du cycle de culture n'est pas toujours diminué mais réorganisé. Le SCV demande un investissement initial important (semoir spécifique notamment) avec une incertitude vis-à-vis de l'évolution du rendement. Les résidus de culture peuvent faire l'objet d'une compétition importante avec d'autres usages, comme l'élevage en Afrique subsaharienne.

Le SCV peut nécessiter un recours aux engrais pour ajuster les besoins des différentes plantes et associations de cultures. Un recours aux herbicides peut également s'avérer nécessaire pour contrôler l'enherbement notamment en cas de faible couverture du sol. Le traitement des semences mobilise l'application de fongicides et d'insecticides. Enfin l'utilisation de semences différentes ou supplémentaires est nécessaire pour les plantes de rotation et de couverture.

C'est pourquoi la diffusion du SCV en Amérique du Sud et du Nord a été couplée à la mise en œuvre d'herbicides et de semences transgéniques capables de limiter la forte pression des adventices. De nombreuses organisations de producteurs ont œuvré pour la diffusion du SCV avec des conférences et échanges d'agriculteurs inter-pays. Beaucoup d'ONG se sont également impliquées. En France, le CIRAD puis l'INRA ont développé des recherches sur le SCV.

Le Système de Riziculture Intensive (SRI)

Développé à Madagascar dans les années 1970 par le père Henri de Laulanié, le SRI est une pratique rizicole comprenant différents principes : un repiquage en ligne avec un espacement plus important, un seul plant de riz, plus jeune (de 8 à 15 jours), repiqué par trou, une gestion de l'eau plus poussée avec une alternance de périodes d'irrigation et d'asec, un apport de fumure organique et un sarclo-binage mécanisé conseillés. Le SRI commence à se diffuser de façon importante en Asie, notamment en Inde, avec également des expériences de diffusion en Afrique sub-saharienne et en Amérique du Sud.

Le SRI peut permettre une diminution significative des quantités d'eau d'irrigation utilisées, avec une forte variabilité selon les contextes (économies d'eau allant de 10 à 60 % dans les études considérées dans ce rapport). Par ailleurs, la plupart des expériences montrent une augmentation des rendements mais elle est aussi très variable selon les contextes (variant entre 5 et 105 % selon les études considérées). La productivité de l'eau est également augmentée avec le SRI (augmentations de 19 % à 150 %). Concernant les rendements, plusieurs facteurs influencent leur variabilité : variété utilisée, qualité des sols, maîtrise de l'eau (irrigation et drainage), fertilisation organique et minérale. Il s'agit toutefois de relativiser le potentiel d'augmentation des rendements en SRI : en effet, plusieurs études en Asie et au Sénégal montrent que la différence de rendement avec certaines pratiques conventionnelles peut être non significative.

Le SRI induit des modifications importantes dans la conduite du système de culture. Il permet de réduire l'utilisation de semences, d'herbicides et d'eau d'irrigation, et donc les charges correspondantes. Toutefois, le temps de travail est augmenté notamment par le repiquage en ligne, l'acquisition d'une sarclo bineuse peut représenter un coût important, la disponibilité en fumure organique peut être limitée, et le SRI nécessite de pouvoir contrôler précisément les apports d'eau d'irrigation à la parcelle (difficultés en cas de tour d'eau imposé par exemple). Le SRI a été tout d'abord diffusé par des associations (Tefy Saina, association d'Henri de Laulanié) à travers des séquences de formations, de champs de démonstration et « Farmer Field School ». Un soutien récent (à partir de 2000) d'une partie de la communauté scientifique (notamment du Cornell International Institute for Food, Agriculture, and Development) a permis de renforcer la crédibilité de cette technique. Des bailleurs de fonds ont ensuite apporté leur soutien à la diffusion de cette pratique.

L'irrigation au goutte-à-goutte, une pratique développée pour économiser l'eau

Mis au point en Israël, le système de goutte-à-goutte est aujourd'hui employé à travers le monde. Il consiste à apporter l'eau sous faible pression jusqu'à la base de chacune des plantes et à la distribuer au compte-goutte, en surface ou en souterrain, à l'aide de petits tuyaux posés sur le sol ou enterrés. Le matériel utilisé pour le goutte-à-goutte peut être plus ou moins complexe (filtre, système de fertigation qui consiste à injecter des engrais solubles avec l'eau dans les gaines, goutte-à-goutte enterré). Le goutte-à-goutte est essentiellement utilisé pour des productions maraîchères et arboricoles, mais également parfois en céréaliculture. Il peut permettre l'irrigation sur des terrains irréguliers.

Ce système permet des économies d'eau en diminuant les pertes par évaporation, ruissellement et drainage. Dans les expériences étudiées dans ce rapport, les économies d'eau varient de 18 à 50 % par rapport à une irrigation à la raie, et vont de 7 à 84 % en comparaison avec une irrigation par submersion. Cependant la mauvaise connaissance du système et un matériel défectueux peuvent limiter l'économie en eau réalisée. D'autre part, la multiplication des surfaces en goutte-à-goutte et la mise en place de cultures de contre saison peuvent conduire à une augmentation des prélèvements en eau plutôt qu'à une baisse. Dans de nombreux cas, les rendements sont augmentés en goutte-à-goutte : de 2 à 179 % dans les études considérées dans ce rapport. Mais certaines expériences montrent des rendements identiques en comparaison avec une irrigation à la raie. Au-delà des résultats sur les rendements, le goutte-à-goutte peut également permettre la culture de nouvelles productions et une diversification alimentaire. Dans pratiquement tous les cas, la productivité de l'eau est augmentée lors du passage en goutte-à-goutte grâce à l'importance de l'économie en eau, avec des augmentations de 37 à 288 % relevées dans le présent rapport.

Outre les économies en eau réalisées, le goutte-à-goutte permet en général de diminuer le temps de travail, mis à part si l'exhaure de l'eau se fait à la main sur de très petites surfaces. Le développement des adventices est réduit, mais les exportations plus importantes du champ suite à la mise en place de plusieurs cycles par an peuvent entraîner un appauvrissement du sol. La fertigation peut permettre d'apporter les nutriments à la plante de façon plus efficace (meilleure absorption grâce à la présence d'eau).

L'une des contraintes majeures du goutte-à-goutte est son coût beaucoup plus élevé que celui des autres techniques d'irrigation. Le renouvellement du matériel est également à prendre en compte dans les charges de fonctionnement. Sa mise en œuvre entraîne donc une réflexion sur un passage à des cultures à plus forte valeur ajoutée. Des systèmes à bas coûts ont été développés en Asie et en Afrique.

La diffusion du goutte-à-goutte s'est faite à travers les grands fournisseurs de ce matériel, mais également à l'initiative d'organisations internationales comme l'ICRISAT ou de certaines ONG comme IDE qui développent des stratégies de marketing pour des systèmes à bas coûts pour de petites surfaces. Dans les pays du Maghreb, l'État joue un rôle important dans la diffusion du goutte-à-goutte en fournissant des subventions allant jusqu'à 100 % pour l'achat et l'installation de ce système.

Problématiques transversales et pistes de travail

Les nombreux contextes dans lesquels ces pratiques peuvent être appliquées et les différentes adaptations qu'en font les agriculteurs rendent l'évaluation de ces techniques difficile. Le risque est par conséquent de généraliser hâtivement un avantage supposé d'une pratique à partir d'expériences ponctuelles qui correspondent dans les faits à un contexte particulier. En outre, la question de savoir si la comparaison des performances de ces pratiques « innovantes » doit être faite avec les pratiques paysannes ou avec les pratiques conventionnelles recommandées fait débat, car cela peut modifier sensiblement l'estimation des gains de productivité possibles. Il est donc nécessaire de continuer à étudier ces pratiques pour mieux connaître leur potentiel en fonction des contextes locaux.

Dans les pays en développement, la question de l'adaptation de la technique par les petits agriculteurs pour modeler l'innovation à leur propre situation est souvent posée, du fait de moyens financiers limités et/ou d'une impossibilité technique à appliquer une partie de l'innovation. C'est le cas notamment du SRI et du SCV dont les principes peuvent être lourds à appliquer en fonction des contextes, mais aussi de l'irrigation au goutte-à-goutte en raison de son coût élevé. Si ces pratiques peuvent représenter des bénéfices potentiels réels, il faut donc veiller à prendre en compte le contexte pour évaluer si elles sont applicables et si elles

confèrent réellement un avantage pour les petits producteurs. Dans cette optique, si ces pratiques sont mises en avant pour leurs performances supposées à la parcelle, il apparaît essentiel de raisonner également à l'échelle de l'exploitation et du territoire. Ainsi, dans la mise en œuvre du SCV en Afrique sub-saharienne, la compétition possible pour l'usage des résidus de culture nécessite de prendre en compte les interactions avec l'élevage.

Le croisement des paquets techniques proposés avec les capacités d'adaptation des producteurs peut permettre de déboucher sur l'adoption des pratiques en tant que telles ou sous une forme modifiée. Un continuum se construit alors entre des paquets techniques innovants, des pratiques conventionnelles recommandées et des pratiques paysannes. Des cadres de recherche action permettant la co-construction de solutions innovantes entre agriculteurs, chercheurs et techniciens peuvent permettre d'explorer cette voie.

L'accompagnement et la formation des agriculteurs sont essentiels à la connaissance et à l'adoption de ces pratiques, mais également à la maximisation des bénéfices que les agriculteurs peuvent en tirer. Des formes innovantes de conseil et de formation restent à construire dans de nombreux pays en développement, avec une grande diversité d'acteurs (organisations professionnelles agricoles, État, recherche, secteur privé, ONG). Le développement des « Farmer Field School » ou d'initiatives de formation professionnelle portées par les organisations professionnelles agricoles, comme le projet de Réseau des irrigants méditerranéens, peuvent permettre de créer des espaces d'échanges et d'expérimentation entre les agriculteurs et les autres acteurs du développement agricole.

Par ailleurs, la mise en œuvre de ces pratiques implique souvent un investissement important, ce qui représente un risque fort pour des petites exploitations dans les pays du Sud. La mise en place d'aides et de financements apparaît alors nécessaire. L'approvisionnement en matériel et en intrants ainsi que la commercialisation des produits agricoles nécessitent en outre un marché structuré pour réaliser ces investissements et valoriser la production agricole issue de ce changement de pratiques. Enfin, le foncier est un paramètre important car un agriculteur sera peu disposé à investir dans une nouvelle pratique si ses droits d'exploitation ne sont pas assurés.

Plusieurs pistes de travail peuvent être explorées. Tout d'abord, les connaissances concernant l'impact sur l'eau de ces différentes techniques pourraient être développées. Ces connaissances apparaissent en effet comme assez éparpillées du fait de la diversité des contextes dans lesquels ces pratiques sont utilisées. Il serait donc important de continuer à étudier ces pratiques pour préciser leur potentiel en le rattachant aux contextes locaux.

Par ailleurs, les différentes pratiques présentées dans ce rapport connaissent une vitesse et étendue de diffusion différentes selon la région d'introduction considérée. Il serait alors important de travailler sur l'identification de zones à fort potentiel de diffusion à partir des facteurs locaux d'opportunités et de blocage. La question de l'utilité d'introduire une technique alors même que de nombreux obstacles s'y opposent doit alors être posée.

Enfin, des approches de recherche action associant les apports des agriculteurs, des chercheurs et des techniciens peuvent contribuer à adapter les pratiques innovantes aux réalités des exploitations familiales du sud. Plusieurs outils peuvent être mobilisés dans cette démarche, comme des méthodes innovantes d'ingénierie de formation ou des champs écoles associés à des méthodes de la recherche participative.

Pour cela, des espaces de concertation et d'expérimentation doivent pouvoir être créés. Ils le sont souvent dans le cadre de projets à durée limitée. La diffusion des innovations à plus grande échelle nécessite alors des relais, parmi lesquels les organisations professionnelles agricoles et les filières ont un rôle à jouer, appuyées par des politiques publiques volontaristes.

Impacts sur l'eau, les rendements et les systèmes de production du zaï, SCV, SRI et irrigation au goutte-à-goutte dans les pays en développement.

Pratiques	Zaï	Semis direct sur Couverture Végétale	Système de Riziculture Intensive	Irrigation au goutte à goutte
Pays correspondant aux études consultées	Burkina Faso, Niger	Cameroun, Ethiopie, Kenya, Nigeria, Zimbabwe, Maroc, Mexique, Cambodge, Inde	Kenya, Mali, Sénégal, Bangladesh, Cambodge, Chine, Inde, Indonésie, Népal, Sri Lanka, Vietnam	Inde, Niger, Zimbabwe, Tunisie, Ouzbekistan
Principales cultures concernées	Mil, sorgho	Céréales (maïs, blé, riz, sorgho), oléagineux (soja, colza), coton	Riz	Maraîchage, arboriculture, céréales, coton, oléagineux
Impact sur la gestion de l'eau (ordres de grandeur)	Captage de 25 % du ruissellement de la zone d'impluvium dans un poquet de zaï, augmentation de la profondeur du front d'humectation du sol en zaï mécanisé.	Diminution de 48 % du ruissellement , augmentation de l'humidité du sol et de la profondeur du front d'humectation, diminution des pertes en eau dues au retournement de la terre, engorgement sur certains sols.	Economies d'eau d'irrigation de 10 à 60 %	Economies d'eau d'irrigation de 7 à 84 % . Economie d'eau parfois compensée par une augmentation de la surface irriguée ou du nombre de cycles réalisés par an.
Impact sur les rendements (ordres de grandeur)	Passage de la gamme 0-600 kg/ha à la gamme 500 - 1200 kg/ha - augmentations de 60 à 120 %. Facteurs de variation: apport en fumure organique. Maintien de rendements plus élevés en condition de sécheresse.	Augmentation ou diminution des rendements - écarts pouvant être supérieurs à 1 t/ha de céréales dans un sens ou dans l'autre. Maintien de rendements plus élevés en situation de faible pluviométrie.	Augmentation de 5 à 105 % . Facteurs de variation : variété utilisée, qualité des sols, maîtrise de l'eau (irrigation et drainage), fertilisation organique et minérale.	Augmentation de 2 à 179 % . Facteurs de variation : culture considérée, mode de fertilisation (fertigation), nature du sol.
Autres avantages	Mise en culture de terres dégradées, combinaison avec d'autres techniques de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux).	Diminution de l'érosion, diminution des coûts énergétiques grâce au non labour.	Diminution des semences utilisées, des herbicides et de l'eau d'irrigation.	Diminution du temps de travail, des adventices et de l'eau d'irrigation, cultures à plus forte valeur ajoutée, diversification alimentaire, qualité du produit, augmentation du nombre de cycles par an, possibilité d'irriguer sur des terrains irréguliers.
Autres limites	Disponibilité de la fumure organique, temps de travail important et pénibilité (zaï manuel), coût d'équipement en traction animale (zaï mécanisé).	Dépenses nécessaires pour des semences différentes ou supplémentaires, le semoir spécifique si pas de semis manuel, les engrais minéraux et les produits phytosanitaires. Compétition possible avec d'autres usages des résidus de culture. Nécessite un débouché pour les cultures de rotation.	Augmentation du temps de travail, achat d'une sarco-bineuse si pas de désherbage manuel, disponibilité de la fumure organique, contraintes de maîtrise de l'irrigation.	Investissement important et coûts d'entretien et de renouvellement, existence d'un marché de fourniture de matériel, disponibilité de l'eau en quantité et qualité suffisantes.

Sommaire

Remerciements	3
Résumé	4
Sommaire	10
Introduction	12
1. Les pratiques agricoles : enjeux pour la gestion de l'eau et la sécurité alimentaire	13
1.1 Mieux gérer l'eau en agriculture, un objectif aujourd'hui incontournable pour la sécurité alimentaire	13
1.2 Des pratiques agricoles de plus en plus mises en avant, mais quel potentiel ?	14
2. Analyse de quatre pratiques agricoles : zaï, SCV, SRI et irrigation au goutte-à-goutte	14
2.1 La méthode utilisée dans l'étude	14
2.2 Atouts et limites des différentes pratiques agricoles	15
a. Le zaï.....	15
b. Le Semis direct sur Couverture Végétale (SCV).....	21
c. Le Système de Riziculture Intensive (SRI).....	30
d. L'irrigation au goutte-à-goutte.....	39
e. Synthèse des résultats.....	49
3. Problématiques transversales et pistes de travail	50
3.1 Des problématiques transversales communes	50
a. L'adaptation du paquet technique à chaque contexte.....	50
b. L'évaluation des avantages tirés des pratiques.....	51
c. Le besoin en formation des agriculteurs.....	52
d. La nécessité d'un accompagnement technique et financier.....	53
e. La question du foncier.....	54
f. L'accès aux marchés : équipements, intrants, commercialisation.....	55
3.2 Pistes de travail	56
a. Renforcer les connaissances en termes d'impact sur l'eau de ces différentes pratiques.....	56
b. Identifier les zones à fort potentiel de diffusion à partir des facteurs locaux d'opportunités et blocage.....	57
c. Promouvoir les échanges et la co-construction de pratiques innovantes entre les agriculteurs et les autres acteurs du développement agricole.....	58
Conclusion	59
Bibliographie	60
Annexes	67
Annexe 1 : impact du SCV sur les sols et la gestion des adventices et des ravageurs	67
Annexe 2 : revue de différentes études sur l'impact du SRI sur les rendements, économies en eau, réduction des coûts et revenus nets dans différents pays d'Asie	68

Liste des abréviations

CIRAD : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FARM : Fondation pour l'agriculture et la ruralité dans le monde
FIDA : Fonds international de développement agricole
IDE : International Development Entreprise
IRSTEA : Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture
ONG : Organisation non gouvernementale
PAM : Programme alimentaire mondial
SCV : Semis direct sur couverture végétale
SRI : Système de riziculture intensive
USAID : United States Agency for International Development
WWF : World Wildlife Fund

Introduction

Des épisodes de sécheresse récents, comme en 2011 dans la corne de l'Afrique et en 2012 au Sahel, ont eu des conséquences très lourdes sur la production agricole dans ces régions et sur la sécurité alimentaire des populations. Ils sont venus rappeler l'importance de la gestion de l'eau dans l'équation alimentaire mondiale.

Or, l'enjeu de mobiliser l'eau de manière durable pour l'agriculture se raisonne dans un contexte de pression de plus en plus importante sur les ressources en eau, liée aux changements globaux (augmentation de la démographie et changement climatique notamment). Dès lors, un objectif assez largement déclaré est d'améliorer la gestion de l'eau agricole, et notamment de produire plus par mètre cube d'eau mobilisé. Dans cette perspective, différentes options peuvent être considérées. Elles comprennent, sans y être limitées, l'utilisation de variétés tolérantes à la sécheresse, les pratiques agricoles, et les aménagements hydro-agricoles.

Ainsi, certaines pratiques agricoles sont de plus en plus présentées comme un outil important d'une meilleure gestion de l'eau, comme lors du 6^{ème} Forum mondial de l'eau tenu à Marseille en 2012. L'objectif de cette étude est donc de faire un point sur les connaissances disponibles sur le potentiel de ces techniques pour une meilleure gestion de l'eau, tout en s'attachant aux contextes locaux de diffusion et d'adoption dans les pays en développement. Quatre techniques sont considérées : le zaï, le Semis direct sur Couverture Végétale (SCV), le Système de Riziculture Intensive (SRI) et l'irrigation au goutte-à-goutte. L'étude ne représente pas de façon exhaustive l'ensemble des expériences, recherches et rapports touchant à ces pratiques, ni l'ensemble des régions dans lesquelles ces techniques sont mises en œuvre. Ce rapport est orienté vers les pays en développement et plus particulièrement le continent africain.

Par ailleurs, l'impact sur l'eau n'est pas le seul élément à prendre en compte dans la diffusion de ces pratiques. Aussi, l'analyse réalisée inclut la gestion de l'eau mais également d'autres critères : les performances agronomiques (notamment l'influence sur les rendements, la productivité de l'eau, la qualité et la fertilité des sols), les aspects économiques (investissement initial, modification des charges de fonctionnement et des produits de l'exploitation) et l'analyse des processus d'implication de différents acteurs soutenant ou critiquant ces pratiques.

Sur la base de cette analyse technique par technique, des problématiques transversales sont ensuite identifiées. Celles-ci permettent de mettre en avant des enjeux communs en termes de connaissance du potentiel pour la gestion de l'eau et des conditions de diffusion de ces pratiques. Des pistes de travail sont alors proposées à partir de ces enjeux transversaux.

1. Les pratiques agricoles : enjeux pour la gestion de l'eau et la sécurité alimentaire

1.1 Mieux gérer l'eau en agriculture, un objectif aujourd'hui incontournable pour la sécurité alimentaire.

La crise alimentaire et la forte volatilité des prix agricoles mondiaux depuis 2008 ont remis en lumière les défis à relever pour assurer la sécurité alimentaire pour tous. En effet, 925 millions de personnes souffraient encore de la faim dans le monde en 2010 (FAO et PAM 2010). Par ailleurs les projections indiquent que la population mondiale devrait passer de 7 milliards d'habitants en 2011 à 9 milliards en 2050, et il s'agira de pouvoir répondre à la demande en produits alimentaires et agricoles de ces 2 milliards d'habitants supplémentaires.

Pour faire face à ce défi, un scénario élaboré par la FAO prévoit qu'il faudra augmenter la production agricole mondiale de 60 % en 2050 par rapport au niveau de 2005/2007 (Alexandratos et Bruinsma 2012). Cependant, cette perspective d'augmentation de la production intervient dans un contexte de compétition entre les différents usages de l'eau. L'agriculture représente 70 % des prélèvements d'eau à l'échelle mondiale (AQUASTAT 2010), tandis que les usages domestiques et industriels comptent pour 10 et 20 % respectivement. Les besoins en eau de ces autres secteurs, notamment pour l'eau domestique des populations urbaines des pays en développement, devraient augmenter sous l'effet de l'évolution démographique et de l'augmentation du niveau de vie de ces pays, renforçant la concurrence pour l'eau entre les différents usages.

En outre, le changement climatique pourrait induire de fortes incertitudes sur la disponibilité en eau dans l'avenir. D'après les rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), l'augmentation anticipée des températures aux latitudes moyennes et dans les zones semi-arides des basses latitudes pourrait provoquer une diminution des ressources en eau (Gaufichon et al. 2010). De plus, une grande partie de la communauté scientifique s'accorde sur le fait que la variabilité climatique et la fréquence des événements extrêmes (sécheresses, inondations, vagues de chaleur) pourraient augmenter dans l'ensemble des régions du monde (Troy 2012b). Ce scénario pourrait conduire à des impacts négatifs importants sur la production agricole.

Dans ce contexte, un objectif de plus en plus largement affiché est celui d'augmenter la production agricole pour faire face à l'évolution de la demande à l'horizon 2050, en mobilisant l'eau de manière plus efficiente car les quantités d'eau mises à la disposition des plantes feront l'objet de pressions de plus en plus fortes.

Plusieurs voies sont possibles pour améliorer la gestion de l'eau dans le secteur de l'agriculture. La présente étude se focalise sur les techniques culturales, qui constituent une solution envisagée parmi d'autres, comme l'amélioration variétale (notamment le développement de variétés tolérantes à la sécheresse – Gaufichon et al. 2010) ou les aménagements hydro-agricoles.

1.2 Des pratiques agricoles de plus en plus mises en avant, mais quel potentiel ?

Les pratiques agricoles sont de plus en plus présentées comme un outil important d'une meilleure gestion de l'eau. Ainsi, lors du Forum mondial de l'eau tenu à Marseille en 2012, une étude sur le SRI en Asie a été citée dans le policy brief du Panel de haut niveau sur l'eau et la sécurité alimentaire (MAAPRAT 2012). Celle-ci fait état de résultats spectaculaires en termes d'économies d'eau et d'augmentation des rendements de riz. Par ailleurs en 2012, Daniel Hillel, considéré comme le concepteur du système d'irrigation au goutte-à-goutte créé pour économiser l'eau, a été récompensé pour ses travaux par le World Food Prize.

Cependant certaines de ces techniques sont soit récentes, soit ont connu récemment un développement à plus grande échelle. De ce fait, l'impact de la mise en œuvre de ces techniques sur l'eau et pour d'autres enjeux (agro-économiques, sociaux) fait l'objet d'une documentation parfois limitée ou prêtant à discussion ou à controverse. D'autre part, ces techniques ne sont pas applicables dans tous les contextes.

Cette étude propose donc d'analyser le potentiel de quatre techniques - le zai, le Semis direct sur Couverture Végétale (SCV), le Système de Riziculture Intensive (SRI), et l'irrigation au goutte-à-goutte – du point de vue de la gestion de l'eau, tout en s'attachant aux contextes locaux de diffusion et d'adoption dans les pays en développement.

2. Analyse de quatre pratiques agricoles : zai, SCV, SRI et irrigation au goutte-à-goutte

2.1 La méthode utilisée dans l'étude

Ce rapport est basé sur une revue de ressources bibliographiques variées incluant entre autres des articles scientifiques, des rapports d'institutions internationales et des rapports de projets menés par des ONG. Cette bibliographie a été complétée par des entretiens de personnes ressources (voir la liste dans la partie « Bibliographie »).

Cette bibliographie ne représente pas de façon exhaustive l'ensemble des expériences, recherches et rapports touchant aux pratiques étudiées ici, ni l'ensemble des régions dans lesquelles ces techniques sont mises en œuvre. Les ressources bibliographiques consultées présentent une diversité géographique (Afrique, Asie, Amérique du sud et du nord, Europe, Océanie), toutefois l'analyse a été orientée vers les pays en développement, et plus particulièrement le continent africain. L'étude est également centrée sur les exploitations familiales petites et moyennes, pour lesquelles les enjeux de développement agricole et de sécurité alimentaire sont particulièrement forts.

Il est également important de préciser que chaque résultat présenté dans ce rapport est rattaché à un contexte particulier. De plus, les différentes expériences scientifiques et rapports n'utilisent pas toujours des données comparables. Le calcul de productivité de l'eau en est un exemple : elle peut être calculée en fonction de l'eau apportée par irrigation, l'eau de pluie additionnée à l'eau d'irrigation ou encore l'eau évapotranspirée (Troy 2012a). Bien souvent, les calculs économiques (charges, produits, marges) ne sont pas détaillés, ce qui rend leur comparaison difficile.

Les quatre pratiques agricoles sont étudiées séparément pour ensuite dégager des thématiques transversales. Pour chaque pratique, une brève présentation est réalisée avant d'analyser l'impact sur la gestion de l'eau. Outre la question du potentiel en termes d'économie d'eau, l'impact de ces techniques sur la disponibilité en eau pour la plante, la modification des processus hydrologiques (ruissellement, évapotranspiration, infiltration) et la qualité de l'eau sont analysés. Les aspects agronomiques, économiques (du point de vue de l'agriculteur) mais également socio institutionnels, avec les différentes dynamiques d'adoption et de diffusion, sont ensuite décrits pour obtenir une analyse plus globale de la pratique et des conséquences de sa mise en œuvre.

2.2 Atouts et limites des différentes pratiques agricoles

a. Le zaï

Principe

Le zaï est une pratique traditionnelle développée au nord du Burkina Faso par les agriculteurs sur leurs terres dégradées ou compactées (appelés zipellés¹). Il a connu un regain d'intérêt dans les années 1980 dans la province du Yatenga (Burkina Faso) suite à une période de diminution de la pluviométrie. Les sols sur lesquels il est mis en œuvre sont des sols bruns et ferrugineux (liés à une érosion éolienne et hydrique) sur lesquels s'est formée une croûte superficielle imperméable engendrant un ruissellement important. Le zaï repose sur le creusement d'un trou (ou poquet) dans lequel de la fumure organique et les semences vont être déposées (cf. Figure 1). Plusieurs semences sont introduites dans le même poquet pour augmenter la poussée de levée et donc augmenter le taux de réussite de levée. Le creusement des poquets se fait à la fin de la saison sèche, et peut se finir au début de la saison des pluies. Le terrain en pente permet l'utilisation de la zone en amont comme d'impluvium. Le travail du sol permet une diminution de la résistance à la pénétration du sol (Barro et al. 2005). Ceci est particulièrement important pour le développement racinaire, mais également pour la perforation de la croûte superficielle lors de la levée de la culture (Droux 2008).

Le zaï permet de mettre en culture des terres qui ne sont pas cultivables de façon conventionnelle, c'est-à-dire labourables manuellement ou par traction animale, ou de récupérer des terres dégradées pour à terme rétablir une culture de plein champ dans le cas de sols épais (plus de 50 cm). La récupération de ces sols dégradés est due à l'amélioration des propriétés physico-chimiques du sol permise par le zaï. Tout d'abord, la disponibilité de l'eau est plus grande (Reij et al., 2009). Ensuite, l'apport de fumure localisé dans le poquet permet de concentrer le peu de fumure disponible, avec un apport conseillé de 5 t/ha. Le fumier attire la microfaune du sol et permet d'améliorer le profil du sol, en partie grâce à l'action des termites (Roose et al. 1995). L'effet de piégeage dans les poquets d'éléments fertilisants (limon, matière organique) transportés par le vent s'ajoute à l'apport de fumure. Certains sols assez profonds comme les sols bruns (Roose et al. 1995) peuvent ainsi être réhabilités après plusieurs années de culture en zaï avec déplacements réguliers des poquets. Une culture en plein champ peut à terme être possible.

¹ « Zipellé veut dire terre blanchie. L'horizon sableux humifère a été décapé; le sommet de l'horizon, encroûté par la battance des pluies, est nettoyé par le ruissellement (>80 % des pluies). Il en existe deux variétés : sens strict : glacis limono-sableux de haut de pente de couleur blanche ou glacis limoneux de bas de pente, surpâturé ; sens large : glacis gravillonnaire rouge mais stérilisé par érosion. » - source : Roose et al. (1992).

Cette pratique est mise en œuvre dans une zone géographique limitée étant donné qu'une pluviométrie inférieure à 300 mm n'est pas suffisante pour le développement d'une culture de mil ou de sorgho, et qu'une pluviométrie supérieure à 800 mm est trop importante et engendre l'engorgement des poquets². Au Burkina Faso, la zone pluviométrique 300-800 mm où le zaï est praticable a progressé avec la translation vers le sud des isohyètes depuis les années 1970 (cf. Figure 2).

L'apport d'engrais organiques ou minéraux localisés au niveau des poquets a permis l'amélioration de la technique de zaï. Il est souvent couplé à d'autres mesures de conservation des sols et de l'eau telles que les cordons pierreux ou les demi-lunes. Aujourd'hui, le zaï est essentiellement pratiqué dans la zone frontalière du Burkina Faso, du Mali et du Niger, et il concerne au moins 20 % des terres cultivées dans la zone sahélienne de ces trois pays (Droux 2008). Le zaï est aujourd'hui appliqué sur 200 000 à 300 000 ha de terres dans la région du Plateau Central au Burkina Faso (Reij et al. 2009). Certaines innovations telles que le zaï mécanisé, où les poquets sont réalisés par le passage croisé d'un attelage bovin, sont testées pour réduire le temps et la pénibilité du travail à réaliser (Barro et al. 2005).



Figure 1: champ cultivé en zaï au Burkina Faso (Source : Reij et al. 2009)

Figure 2 : carte de translation des isohyètes au Burkina Faso (Source : Atlas de l'Afrique, Burkina Faso 2005, dans Clavel et al. 2008)



² Entretien avec Patrick Dugué, 13 juin 2012.

L'impact sur l'eau

Le zaï n'est pas une technique qui permet d'économiser l'eau en tant que telle, mais une technique qui permet de mieux valoriser l'eau pluviale sur des terres dégradées ou compactées, où le ruissellement est élevé avec une faible infiltration de l'eau dans le sol et dans des régions où la pluie se concentre lors d'une saison des pluies d'une durée de 4 mois (de juin à septembre).

Ainsi, sur des terres appelées « zipellé », l'horizon sableux humifère a été décapé et le sommet de l'horizon est constitué d'une croûte formée sous l'action des pluies (phénomène de battance - Roose et al.1992). Cette croûte superficielle entraîne un ruissellement important malgré la faible pluviométrie : sur sols ferrugineux, le ruissellement est estimé à 20-50 % sous culture, et jusqu'à 70 % sur sols dénudés (Marchal 1986). Le zaï va permettre de casser cette croûte et d'augmenter la rugosité du sol. Le stock d'eau du sol va ainsi pouvoir se recharger grâce à la meilleure infiltration. Roose et al. (1995) estiment que 25 % du ruissellement de la zone d'impluvium peut être capté dans un poquet de zaï. La rétention de l'eau dans le sol est augmentée par l'apport de fumure organique.

Une étude qui teste le zaï mécanisé a été faite sur deux sites au Burkina Faso (Barro et al. 2005). La comparaison du front d'humectation du sol avec un zaï mécanisé (passage croisé à 90° d'un attelage tirant une dent) avec celui obtenu en zaï manuel montre une profondeur comparable au sein des poquets pour l'un des deux sites, et une profondeur plus grande au niveau des poquets de zaï mécanisé pour le deuxième site (jusqu'à 15 cm de plus). Cependant, l'infiltration hors des poquets est plus importante dans le cas du zaï mécanisé (jusqu'à 35 cm de plus sur le deuxième site), la dent travaillant une surface de champ plus grande. Le zaï mécanisé semble donc renforcer dans certains contextes le rôle de captage de l'eau du zaï manuel.

Les résultats agronomiques

Le zaï permet avant tout d'obtenir une production sur des terres souvent laissées à l'abandon car improductives. Différents résultats obtenus au Burkina Faso et au Niger montrent une augmentation des rendements, avec un passage de la gamme 0-600 kg/ha à la gamme 500 - 1200 kg/ha sur des cultures de mil et de sorgho. Les augmentations varient de 60 à 120 %, voire plus si les terres n'étaient plus cultivées (Roose et al. 1995, Fatondji 2002, Ouedraogo et al. 2008, Reij et al. 2009). Des travaux réalisés au Niger ont par ailleurs mis en évidence que, en condition de sécheresse, les rendements de mil en zaï restaient supérieurs à ceux obtenus en conventionnel (Fatondji 2002).

Cependant, la variation de l'augmentation de rendement dépend fortement de l'apport en fumure organique et de la combinaison avec d'autres techniques de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux). Ainsi, les travaux réalisés au Niger par Fatondji (2002) montrent que les rendements obtenus en zaï sont supérieurs à ceux d'une culture sans creusement de poquets, quels que soient les amendements considérés sur le champ (cf. Figure 3). Cependant, un apport de fumier permet d'accroître considérablement la production (Dugué et al. 1993). Les graphiques de la figure 3 mettent en avant cette augmentation significative de rendement lors d'apport de fumier, quelle que soit la technique utilisée (zaï ou à plat). L'augmentation de rendement est cependant beaucoup plus importante dans le cas du zaï.

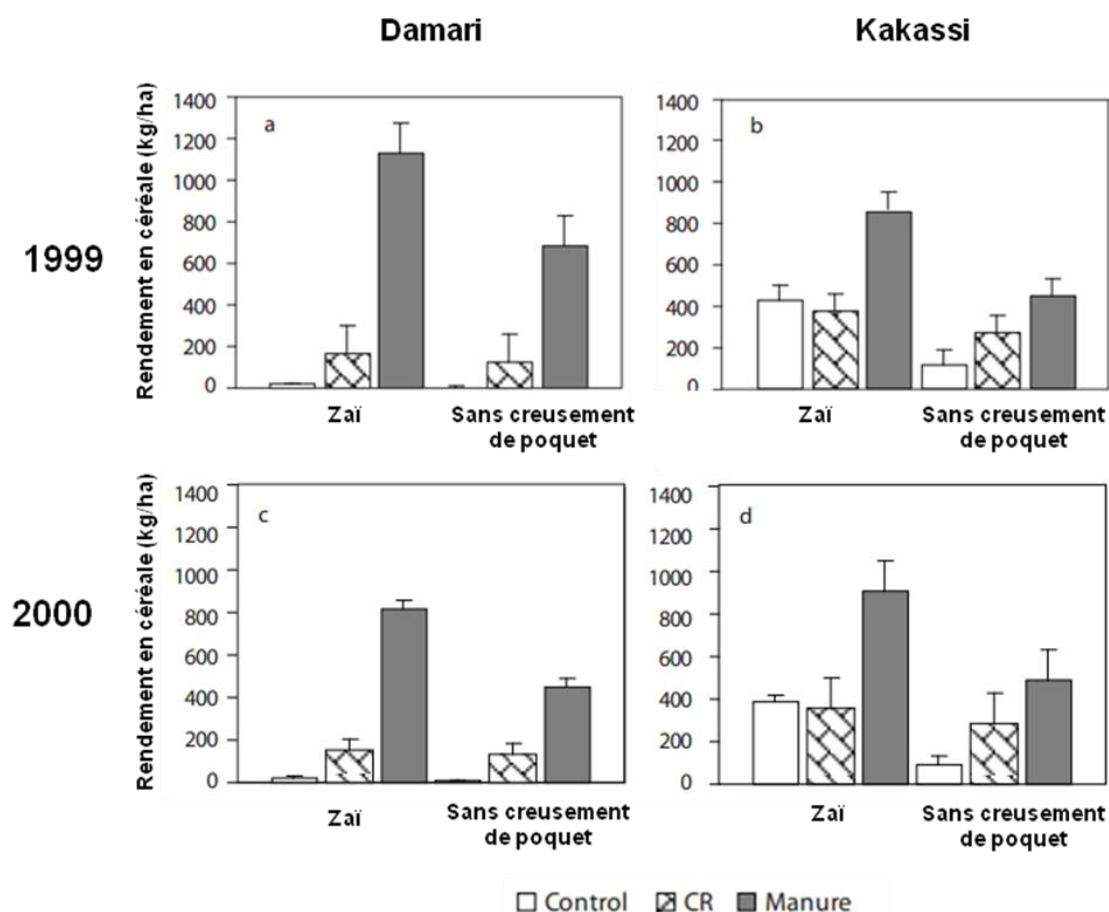


Figure 3: rendements de mil obtenus avec zaï et avec culture sans poquet sur deux sites au Niger 1999 (a, b) et 2000 (c, d) avec trois traitements (Control : Témoin, CR : avec maintien de résidus de culture, Manure : avec apport de fumier). Source : Fatondji (2002).

Par ailleurs, Ouedraogo et al. (2008) ont mis en évidence l'augmentation de rendement en sorgho et mil grâce au zaï dans quatre zones du Burkina Faso (cultures de l'année 2007). Lorsque le zaï est en plus associé à des cordons pierreux ou des bandes enherbées, le rendement augmente de 100 à 300 kg/ha supplémentaires environ (cf. Tableau 1).

	Grains (kg/ha)		
	Sans mesure de conservation de l'eau et du sol	Zaï	Zaï associé à des cordons pierreux ou des bandes enherbées
Ziga	434	772	956
Ranawa	376	804	922
Noh	486	700	980
Rissiam	468	716	992

Tableau 1 : moyenne de rendement de sorgho et mil dans quatre zones du Burkina Faso (2007) et sur des sols différents (Source : Ouedraogo et al. 2008).

Ces résultats sont concordants avec les résultats de productivité de l'eau (cf. Tableau 2). Les travaux de Fatondji (2002) au Niger montrent des productivités de l'eau supérieures pour le zaï, que ce soit avec des apports de paille de mil ou de fumier. Avec un apport de fumier, la productivité de l'eau en zaï est ainsi augmentée de 85 % en moyenne par rapport à une culture sans creusement de poquets (ayant également bénéficié d'un apport de fumier).

Il est intéressant de noter que l'amendement de fumier permet une augmentation de productivité de l'eau significative pour les deux techniques (augmentation moyenne de 320 % pour le zaï, et de 200 % sans creusement de poquet). A Damari, où le sol a une faible capacité de rétention d'eau, l'apport de fumier a un impact plus important sur la productivité de l'eau qu'à Kakassi, où le sol a une meilleure capacité de rétention de l'eau.

		Productivité de l'eau (de grains) (kg/m ³)			
		Damari		Kakassi	
Technique	Apport	1999	2000	1999	2000
Zaï	Paille de mil	0.034	0.043	0.119	0.107
	Fumier	0.235	0.228	0.267	0.280
Sans creusement de poquet	Paille de mil	0.026	0.038	0.088	0.079
	Fumier	0.143	0.125	0.141	0.138

Tableau 2 : productivité de l'eau d'une culture de mil en zaï et sans creusement de poquet. Rapport rendement en grain de mil / eau de pluie, avec ajout de paille ou de fumure, 1999-2000 à Damari et Kakassi (Niger). Source : Fatondji (2002).

Aspects économiques

La plus forte contrainte du zaï reste l'organisation du travail qu'il exige. En fonction de la densité de poquet souhaitée, le zaï demande entre 300 et 800 heures/homme/ha de travail (Reij et al. 2009). Ceci entraîne un coût élevé pour l'agriculteur. Le zaï mécanisé permet de diminuer le temps de travail, qui s'élève alors à environ à 50 heures/homme/ha (Clavel et al. 2008), voire 36 heures/homme/ha dans un cas documenté par Barro et al. (2005) à Pougyango (Burkina Faso).

Le creusement des poquets se fait à la fin de la saison sèche et empiète parfois sur le début de la saison des pluies. Les autres activités agricoles étant réduites, c'est une période d'exode économique. Beaucoup de travailleurs partent à la recherche d'activités plus rémunératrices que l'agriculture, laissant seuls les femmes, enfants et personnes âgées pour s'occuper de l'exploitation. La pénibilité du travail, réalisé pendant une période de disette, rend intéressant la solution du zaï mécanisé car il réduit le temps de travail et ainsi le coût du travail du sol. Cependant, la possession d'animaux de trait et d'un attelage adapté au zaï n'est pas à la portée de tous les agriculteurs, et les animaux sont également affaiblis par le manque de fourrage en cette période.

Kaboré et Reij (2004) estiment que le bénéfice tiré du travail fourni pour mettre en œuvre le zaï reste inférieur à celui de l'exode saisonnier. Cependant, si l'exode saisonnier n'est pas pratiqué, il peut y avoir un avantage à mettre en œuvre le zaï du point de vue de la valorisation du travail.

Par ailleurs, la faible disponibilité de fumure dans les régions où le zaï est pratiqué représente une contrainte importante. Les apports sont souvent de l'ordre d'une tonne par hectare, en dessous de l'apport conseillé pour une production optimale (Kaboré et Reij 2004). De plus, il est difficile d'envisager une augmentation de la charge de bétail dans cette région alors même que les zipellés sont la conséquence d'une surexploitation des ressources par la mise en culture en continue et le surpâturage.

Enfin, la régénération forestière est souvent associée au zaï. Lors de la récolte, les agriculteurs coupent la culture à un mètre de hauteur pour protéger du bétail les jeunes pousses d'arbres préalablement sélectionnées pour leurs fonctionnalités (bois de chauffe, arbre producteur, médicinal...). Cette pratique permet de diversifier la production et ainsi les bénéfices de l'exploitation.

Implications des différents acteurs pour la diffusion

Le zaï, technique de culture utilisée traditionnellement au Burkina Faso, a été redécouvert par certains agriculteurs et ONG qui dans les années 1980 ont appliqué cette pratique sur des terres dégradées. Deux agriculteurs « innovateurs » ont permis de faire connaître cette technique au Burkina Faso en créant des associations et « Farmer Field School »³, ce qui a permis de toucher un grand nombre de producteurs. Les ONG se sont également concentrées sur d'autres mesures de conservation des eaux et des sols comme les cordons pierreux (Kaboré et Reij 2004).

Cette initiative a été plus largement reprise par un projet d'agroforesterie financé par Oxfam. Ceci a permis la reconnaissance de l'utilité du zaï ainsi que d'autres mesures de conservation des eaux et des sols, aussitôt repris par différentes ONG. Après l'échec au cours des années précédentes de mise en place de différentes mesures de conservation de l'eau et du sol (exemple : diguettes en terre) par différents programmes publics (Groupement Européen de Restauration des Eaux et des Sols, ou des Fonds pour le Développement Rural - Kaboré et Reij 2004), de nombreux nouveaux projets publics ont vu le jour, dont le programme du FIDA dans le Plateau Central qui a permis d'aménager 32 500 ha en zaï.⁴

Les chercheurs qui se sont intéressés au zaï à la fin des années 1980 ont quant à eux permis grâce à leurs études d'asseoir les arguments en faveur de la diffusion du zaï.

Le zaï apparaît maintenant comme une pratique très courante dans les régions du Burkina Faso essentiellement (Yatenga, Plateau central) où Kaboré et Reij (2004) estiment à des dizaines de milliers d'hectares la surface ayant été réhabilitée par le zaï. Certaines zones au Niger (Reij et al. 2009) semblent avoir adopté spontanément le zaï sur des superficies importantes, associé à de la régénération forestière. Cette diffusion a pour le moment été peu étudiée au Niger.

³ Les « Farmer Field Schools », proposés par la FAO, issus d'expériences sur les méthodes de protection intégrée en Asie du Sud Est, sont une démarche mise en œuvre dans plusieurs pays (Syrie, Afrique de l'Est et de l'Ouest, et plus récemment en Afrique du Nord) et qui traitent de différentes thématiques (lutte intégrée, aménagement des sols, agriculture biologique...). Le programme de ces écoles suit le cycle naturel du sujet (culture, animal, sol...) à travers le rassemblement périodique de petits groupes d'agriculteurs. Le but est d'étudier tous les aspects du sujet, parallèlement à ce qui se produit dans le champ (ou dans l'étable, etc.). Des exercices pratiques sont réalisés (« apprentissage actif ») et des expériences peuvent aussi être menées. Les cycles sont facilités techniquement par un animateur (facilitateur) - source : Imache et al. 2011.

⁴ Cf. site internet du FIDA :

http://www.ifad.org/evaluation/public_html/eksyst/doc/prj/region/pa/burkina/bf_f.htm consulté le 31/08/2012.

b. Le Semis direct sur Couverture Végétale (SCV)

Principe

Le SCV est une pratique agricole basée sur 3 principes (AFD 2006) :

- la suppression du travail du sol et la mise en place des cultures par semis direct, où la semence est placée directement dans le sol. Seul un petit sillon ou un trou est ouvert, de profondeur et largeur suffisantes, avec des outils spécialement conçus à cet effet, pour garantir une bonne couverture et un bon contact de la semence avec le sol,
- une couverture végétale permanente : une couverture morte ou vivante est maintenue en permanence sur le sol,
- des successions ou rotations culturales en association avec des plantes de couverture.

Les définitions varient d'une institution à une autre, notamment sur la possibilité d'un travail superficiel du sol ou une couverture du sol plus ou moins importante. Certaines définitions de l'agriculture de conservation⁵ peuvent être assimilées au SCV.

Cette pratique agricole est née aux États Unis dans les années 1960. En effet, d'importantes dégradations de terres dans les années 1930 avaient été à l'origine du phénomène de « Dust Bowl » (nuage de poussière provoqué par l'érosion éolienne de plaines céréalières) - Goulet et Hernández (2011). Le SCV fut étendu dans les pays d'Amérique du Sud, comme le Brésil et l'Argentine, et en Océanie, notamment en Australie. Sur le continent africain, le SCV s'est essentiellement diffusé en Afrique de l'Est, alors qu'il peine à être introduit en Afrique de l'Ouest⁶. Le tableau 3 présente la répartition des surfaces cultivées en non labour dans le monde (Derpsch et Friedrich 2009).



Figure 4 : champs de maïs en SCV sur le site expérimental de Lavalette de l'IRSTEA à Montpellier (juin 2012). Source : auteurs.

⁵ L'agriculture de conservation « vise des systèmes agricoles durables et rentables et tend à améliorer les conditions de vie des exploitants au travers de la mise en œuvre simultanée de trois principes à l'échelle de la parcelle: le travail minimal du sol; les associations et les rotations culturales et la couverture permanente du sol. » (Source : FAO <http://www.fao.org/ag/ca/fr/index.html> consulté le 31/08/2012).

⁶ Entretien avec Patrice Djamen, 27 juin 2012.

Continent	Superficie (hectares)	Pourcentage de la superficie totale
Amérique du Sud	49 579 000	46,8
Amérique du Nord	40 074 000	37,8
Australie et Nouvelle Zélande	12 162 000	11,5
Asie	2 530 000	2,3
Europe	1 150 000	1,1
Afrique	368 000	0,3
Total dans le monde	105 863 000	100 %

Tableau 3 : superficies cultivées en non labour par continent
(Source : Derpsch et Friedrich 2009)

Dans le tableau 3, l'ensemble des surfaces en non labour sont comptabilisées, ce qui veut dire que la surface en SCV est plus restreinte car demande l'application en plus de couvert végétal et de rotation des cultures. Ces chiffres sont donc supérieurs à ceux en SCV. De plus, les surfaces sont surestimées dans certains pays comme les États Unis où le non labour est appliqué en alternance avec des années de labour, et sous estimées ou non répertoriées dans d'autres.

Les surfaces cultivées en non labour représentent donc environ 106 millions d'hectares, soit un peu moins de 7 % de la surface mondiale cultivée (estimée à 1527 millions d'hectares d'après la FAO).

Le SCV est ainsi pratiqué dans de nombreuses régions du monde. La diversité des contextes et les acceptations différentes de cette pratique rendent son évaluation complexe. L'analyse concernant le SCV s'est ici focalisée sur sa mise en œuvre dans les pays en développement ou émergents, et relativement peu sur les expériences des pays du nord.

L'impact sur l'eau

Le développement du SCV n'a pas initialement été motivé pour réaliser des économies d'eau, mais pour limiter les érosions hydriques et éoliennes et préserver la fertilité des sols. Mais cette technique a également différents impacts sur l'eau présentés dans le tableau 4. Essentiellement grâce à la présence d'une couverture constante du sol, les ruissellements chargés en particules sont diminués, ce qui diminue la perte de sol et la charge en matière organique des eaux. La structure du sol est améliorée (absence de croûte de battance et de semelle de labour, plus grande porosité) ce qui permet une plus grande infiltration de l'eau. Par ailleurs l'évaporation superficielle est diminuée par l'ombrage du couvert végétal permanent.

Le SCV peut donc permettre une rétention d'eau plus importante dans le sol et une meilleure disponibilité en eau pour la plante. Des études réalisées au Cameroun sur des cultures de coton (Soutou et al. 2005) indiquent ainsi une diminution de 48 % du ruissellement en SCV et une augmentation de l'humidité du sol (0,05 % sur l'horizon 0-100 cm) et de la profondeur du front d'humectation (de 10 cm). Par ailleurs l'absence de labour peut permettre de limiter les pertes en eau dues au retournement de la terre. Au Maroc, dans les régions du Centre ouest du pays, une pratique courante consiste à réaliser une année de jachère avec labour puis une

culture de blé. En comparaison, une jachère chimique⁷ suivie d'un semis direct peut permettre de stocker trois fois plus d'eau dans le sol (80-100 mm d'eau contre 30 mm - El Brahli et al. 2009). Une étude réalisée au Mexique (Erenstein 2003) a en outre montré qu'en condition de faible pluviométrie, le SCV permettait d'obtenir des rendements de maïs supérieurs au système conventionnel (2,2 t/ha contre 1,2).

Toutefois, certains de ces impacts positifs doivent être nuancés. En zone de forte pluviométrie, certains sols peu drainants peuvent subir un engorgement en conséquence de la meilleure rétention de l'eau dans le sol en SCV. En outre, l'utilisation d'une plante de couverture peut, par son besoin propre en eau, entamer le stock d'eau du sol et limiter la disponibilité en eau lors du semis de la culture principale (Khaledian et al. 2010). Il s'agit alors de trouver une plante de couverture qui ne puise pas dans les mêmes horizons que la culture principale.

Par ailleurs, le fait d'avoir une plante de couverture ou des résidus de culture diminue la vitesse de retour des nutriments dans le sol. Cela peut être bénéfique lorsque les pluies sont importantes à la fin du cycle et que les nutriments, encore piégés dans les éléments végétaux, ne seront pas lixiviés. Cependant, la meilleure infiltration de l'eau dans le sol peut augmenter le drainage (77 % observé au Cameroun sous culture de coton). Cette augmentation du drainage peut avoir comme conséquence une augmentation des nutriments lixiviés.

Certains bénéfices restent à ce jour difficiles à démontrer et contribuent au débat ayant lieu sur les performances du SCV, tels que la recharge des nappes phréatiques grâce à la meilleure infiltration de l'eau dans les sols, ou encore une qualité d'eau supérieure grâce à la dégradation des phytosanitaires interceptés par le couvert puis dégradés par la faune et non lixiviés (AFD 2006). Les débats portent également sur les performances agronomiques qui diffèrent selon les contextes et les particularités de mise en œuvre du SCV.

⁷ Jachère chimique : jachère pour laquelle le couvert végétal est contrôlé à l'aide de produits phytosanitaires et non par un labour.

Tableau 4 : impacts du SCV sur l'eau

Avantages		Limites	
Effets	Exemples	Effets	Exemples
Ruissellement			
Couverture permanente du sol et amélioration de la structure du sol qui limitent le ruissellement et favorisent l'infiltration.	<u>Cameroun</u> (Soutou et al. 2005) : Culture de coton en SCV et en traditionnel Diminution de 48 % du ruissellement en SCV.		
Disponibilité de l'eau pour la plante (stock d'eau du sol, eau pluviale)			
Augmentation de la profondeur d'humectation qui augmente le stock d'eau du sol et permet une augmentation des rendements là où l'eau est un facteur limitant. Absence de semelle de labour qui permet d'augmenter le volume de sol exploré par les racines, et donc l'eau disponible pour la plante.	<u>Cameroun</u> (Soutou et al. 2005) : Culture de coton en SCV et en traditionnel. Humidité du sol : - 0,15 % en traditionnel - 0,20 % en SCV. Profondeur du front d'humectation (cm) : - 26,7 en traditionnel - 36,6 en SCV.	Avantages moins importants dans des zones où la pluviométrie n'est pas limitante : faible augmentation des rendements en zone de forte pluviométrie. Engorgement du sol quand la pluviométrie est trop importante (dépend de la nature drainante du sol).	<u>Mexique</u> (Erenstein 2003) : Comparaison, dans deux zones de pluviométrie différente, de l'augmentation de rendement de maïs lors du passage du labour conventionnel au labour minimum. - Pluviométrie marginale (400 - 600 mm) : augmentation de rendement de 75 % (de 1,2 à 2,2 t/ha) - Pluviométrie favorable (600 - 800 mm) : augmentation de rendement de 2.5 % (de 5,6 à 5,7 t/ha)
Moins de pertes d'eau dues au retournement de la terre en labour.	<u>Maroc</u> (El Brahli et al. 2009) : Dans le Centre ouest du pays, technique traditionnelle de jachère avec labour puis blé. La jachère chimique suivie d'un semis direct permet de stocker trois fois plus d'eau dans le sol (80-100 mm d'eau contre 30 mm).	L'utilisation d'une plante de couverture entame le stock d'eau du sol. Il faut donc trouver une plante de couverture qui ne puise pas dans les mêmes horizons que la culture principale.	<u>France</u> (Khaledian et al. 2010) : Comparaison en culture traditionnelle et SCV de cultures de blé, maïs et sorgho. En SCV avec la mise en place d'une plante de couverture, le stock d'eau du sol n'est pas entièrement rétabli au moment du semis de la culture principale si les pluies de printemps sont peu nombreuses (année sèche), alors qu'il l'est en conventionnel.
Évaporation			
Diminution de l'évaporation superficielle réalisée par l'ombrage du couvert végétal permanent.	<u>Mexique et Brésil</u> (Scopel et al. 2004) : Modélisation de culture de maïs intégrant un couvert végétal. Diminution de l'évaporation : - 280 mm en sol nu - 183 mm avec résidu (6 Mg/ha). L'interception des radiations par le couvert est le principal facteur explicatif.		
Drainage			
Plante de couverture et résidus de culture permettant de stocker provisoirement les nutriments hors du sol et empêche la lixiviation.	<u>France</u> (Khaledian et al. 2010) : Comparaison en culture traditionnelle et SCV avec du blé, maïs et sorgho.	Augmentation du drainage qui entraîne une lixiviation des nutriments (dont l'azote). Ceci est causé par un stock d'eau dans le sol plus important donc un drainage important, notamment en cas d'engorgement du sol.	<u>Cameroun</u> (Soutou et al. 2005) : Culture de coton en SCV et en traditionnel : augmentation de 77 % du drainage en SCV comparé à une culture en traditionnel.

Les performances agronomiques

L'impact du SCV sur les rendements fait l'objet de débats importants. Le SCV a été beaucoup débattu et critiqué sur la diminution de rendement qu'il engendrerait dans un premier temps, estimé aux 5 premières années de mise en place du SCV, avec les effets que cela implique pour les revenus voire la sécurité alimentaire des petits producteurs. Cette diminution initiale des rendements s'expliquerait en partie par une forte pression des ravageurs et adventices les premières années de mise en place du système, et un équilibre des nutriments non encore atteint dans le sol (diminution provisoire des nutriments du sol disponibles pour la culture car ils sont piégés dans le couvert végétal et restitués plus lentement dans le sol). Néanmoins, le semis direct a aussi potentiellement des effets bénéfiques sur le niveau de production, grâce à une meilleure qualité des sols et une plus grande disponibilité d'eau dans le sol pour la plante. En outre, le semis peut se faire dès les premières pluies ce qui permet de :

- rallonger le cycle, et ainsi augmenter la production⁸,
- déplacer le cycle : cela peut permettre comme à Madagascar, de récolter avant la saison défavorable des cyclones susceptible de détruire l'ensemble de la récolte⁹.

D'autre part, il existe un consensus sur le fait que le SCV induit des effets positifs sur le long terme de stabilisation des rendements (Giller et al. 2009).

En fait, les expériences de terrain documentées font apparaître des résultats plus variables. Une revue d'expériences de la mise en œuvre du SCV en Éthiopie, au Nord Cameroun, au Kenya, au Nigeria et Zimbabwe montre des diminutions ou des augmentations de rendements. La figure 5 est une illustration de ce constat pour des cultures de maïs en SCV au Nigeria et au Zimbabwe. Selon le site expérimental (l'un au Zimbabwe - courbe verte - et l'autre au Nigeria – courbe rouge), les rendements sur les 8 premières années de mise en place du SCV suivent des trajectoires différentes, et peuvent globalement être supérieurs (courbe verte) ou inférieurs ou égaux (courbe rouge) aux rendements obtenus en conventionnel, avec des écarts pouvant être supérieurs à 1 t/ha dans un sens ou dans l'autre.

D'autres expériences montrent également des résultats variables :

- Culture de maïs dans l'Ouest de l'Éthiopie (Debele 2011) : rendements supérieurs en SCV par rapport au conventionnel chaque année sur 5 ans, avec une augmentation de 12 % en moyenne sur les 5 ans (6,5 t/ha contre 5,8 t/ha).
- Culture de coton dans le Nord du Cameroun (Naudin et al. 2010) : sur une période 6 ans, augmentation des rendements de 12 % en SCV par rapport au conventionnel dans une région, mais pas de différence dans une autre. Les auteurs supposent que cette différence est liée à un impact positif du SCV sur la disponibilité en eau. En effet, c'est dans la région où l'eau est la plus limitante que l'on observe une augmentation de rendement. Cependant il est difficile d'isoler l'influence du paramètre eau uniquement. Cela rejoint les résultats d'une étude réalisée au Mexique (Erenstein 2003) qui a montré qu'en condition de faible pluviométrie (400 - 600 mm), le SCV permettait d'obtenir des rendements de maïs supérieurs au système conventionnel (2,2 t/ha contre 1,2), alors qu'en situation pluviométrique favorable (600 - 800 mm), les rendements obtenus étaient similaires (5,6 – 5,7 t/ha) – cf. tableau 4.

⁸ Entretien avec Dominique Rollin, 13 juin 2012.

⁹ Entretien avec Krishna Naudin, 21 juin 2012.

- Culture de maïs au centre du Kenya (Guto et al. 2011): sur 4 saisons des pluies, rendements en augmentation ou diminution en SCV par rapport au conventionnel (gamme de rendements entre 1 et 6,5 t/ha), avec une diminution du rendement (jusqu'à 34 %) en SCV sur les sols pauvres (fertilité faible).

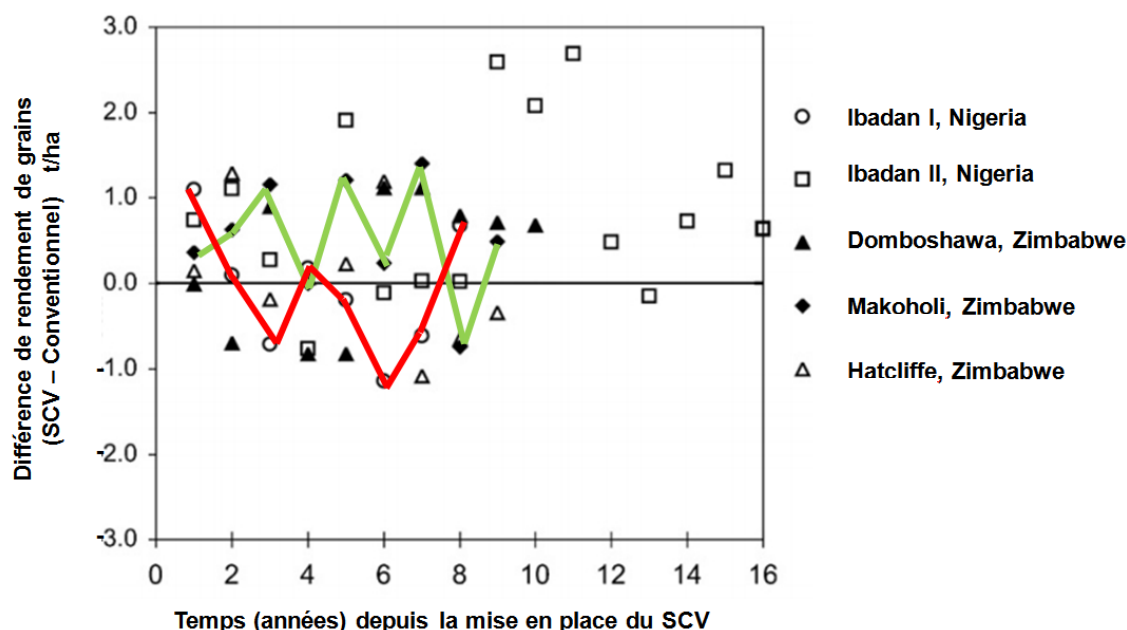


Figure 5 : rendement du maïs (grains) en SCV comparé à un système de labour conventionnel (source : modifié d'après Giller et al. 2009)

Il semble donc que le niveau de pluviométrie et de fertilité initiale des sols puissent jouer un rôle dans la différence de rendement entre le SCV et le système conventionnel (meilleurs résultats pour le SCV en pluviométrie faible et moins bons si la fertilité est faible), mais cela reste difficile à établir de manière claire. Par ailleurs, les impacts du SCV sur les rendements dépendent des effets de cette pratique sur les sols. Le tableau présenté en annexe 1 récapitule les différents impacts du SCV sur les sols et la gestion des adventices. Il est établi que le SCV permet une diminution de l'érosion – c'est pour cela que cette technique a été développée. Néanmoins d'autres effets positifs attribués au SCV (meilleure disponibilité des nutriments pour la culture principale, diminution de la pression des adventices et des ravageurs due à la présence du couvert végétal) sont parfois nuancés voire réfutés par différents travaux.

Sur des durées plus longues (supérieures à 10 ans), peu d'expériences sont disponibles. Seuls les champs sur lesquels le SCV a prouvé être avantageux du point de vue des agriculteurs sont maintenus, et donc pris en compte dans les études, ce qui engendre un biais. Il semble donc difficile de confirmer ou de réfuter l'hypothèse d'un effet positif du SCV sur les rendements sur la longue durée dans l'état actuel des connaissances.

En ce qui concerne la productivité de l'eau, la présence de résidus de culture semble avoir un effet positif, comme le montre une expérience réalisée au Cambodge sur du haricot mungo (Bunna et al. 2011). Une quantité de résidus de 2 t/ha permet d'augmenter la productivité de l'eau de 11 à 154 % selon le site expérimental. De plus, une expérience en Inde comparant le labour à un non labour sur une culture de maïs montre également une augmentation de la productivité de l'ordre de 18 % sur deux années consécutives (Parihar et al. 2011).

Aspects économiques

Le SCV peut potentiellement permettre une augmentation de la marge réalisée par l'agriculteur à travers :

- l'augmentation ou la stabilisation des rendements (dépendant du contexte) – cf. partie sur les performances agronomiques ci-dessus,
- une diminution des coûts des intrants ou de diverses charges.

En ce qui concerne les charges de l'agriculteur, différents postes de dépenses sont en effet modifiés :

- Main d'œuvre : l'absence de labour permet de diminuer le temps de travail en début de cycle (El Brahli et al. 2009). Cependant il est nécessaire de vérifier que la diminution du temps de travail réalisée par l'absence de labour ne soit pas compensée par une augmentation du temps de travail sur certains autres postes (gestion de la couverture végétale, désherbage, traitements phytosanitaires) et que les pics de travail ne soient pas déplacés pendant une période où la main d'œuvre est insuffisante (Giller et al. 2011).
- Énergie : le non labour permet de diminuer les coûts énergétiques liés au labour (économies de 30-40 US\$/ha relevés en Syrie et Iraq- Piggin et al. 2011).
- Semence : pour effectuer une rotation culturale ou si l'agriculteur utilise des plantes de couverture, il sera nécessaire d'acheter des semences différentes ou des semences supplémentaires.
- Semoir : le semis peut se faire manuellement ou mécaniquement avec un semoir spécifique au semis direct. Pour de petites exploitations inférieures à 0,5 ha, le semis peut être fait manuellement (par exemple avec du matériel de type canne planteuse) – Lamantia (2012). Le semis manuel peut demander un temps de travail substantiel. Pour des exploitations plus grandes, un semis mécanisé peut être nécessaire. Dans ce cas, l'achat d'un semoir, ou l'adaptation de semoirs attelés pour le semis direct, représentent un investissement initial important (en France, l'ordre de grandeur du prix d'un semoir se situe entre 20 et 50 000 euros¹⁰). Cet investissement est inaccessible pour la plupart des petits agriculteurs dans les pays en développement, en particulier lorsqu'il ne s'agit que de tester la pratique sur une faible superficie de l'exploitation.
- Engrais minéraux et phytosanitaires : les systèmes en SCV peuvent nécessiter un recours aux engrais pour ajuster les besoins des différentes plantes et associations de cultures (Lamantia 2012). Un recours aux herbicides peut également s'avérer nécessaire pour contrôler l'enherbement notamment en cas de faible couverture du sol. Enfin le traitement des semences mobilise l'application de fongicides et d'insecticides. Ces intrants peuvent représenter un coût non négligeable pour les exploitants.

Une étude réalisée au Kenya (Guto et al. 2011) montre une différence de rentabilité pour la culture du maïs en fonction de la pratique utilisée (SCV ou conventionnel). Le ratio bénéfice / coût total est différent selon les types de sol, avec un ratio plus élevé en SCV pour les sols de bonne et moyenne fertilité par rapport à un labour et enlèvement des résidus de culture, alors que les sols pauvres ont au contraire un ratio plus élevé avec un labour et enlèvement des résidus de culture. L'absence de labour et la rétention des résidus au champ

¹⁰ Entretien avec Patrick Rosique, 13 juin 2012

diminuent le temps de travail, mais augmentent les autres charges (essentiellement l'achat d'herbicides). On remarque cependant une diminution globale des coûts en labour minimum et rétention des résidus.

Il est important de noter que l'insuffisante structuration des marchés peut empêcher l'approvisionnement en intrants et l'achat du matériel nécessaire (semoir) pour l'adoption du SCV ou son bon déroulement. L'accès au marché d'intrants (phytosanitaires ou semences) est parfois difficile comme au Malawi où 54 % des abandons sont motivés par un manque d'accès aux intrants (Ngwira et Aune 2011). Cette étude révèle également qu'une importante partie des agriculteurs ne pratiquent pas la rotation culturale recommandée à cause de pénuries de semences. Ces semences sont encore rares dans les pays où le SCV est récent. La rotation demande l'introduction de cultures différentes de celles réalisées habituellement par les agriculteurs. Or le marché de ces semences est encore peu organisé.

Afin de faire face à ce type de difficultés d'approvisionnement en intrants, les paysans de la région du lac Alaotra à Madagascar ont innové en développant une technique de SCV à bas niveau d'intrants (Lamantia 2012). La fertilisation minérale a diminué face à la conjoncture d'augmentation du prix des intrants (doublement en 2008/2009). Le principe préconisé est d'appliquer des engrais minéraux les premières années de SCV afin de favoriser rapidement la production de biomasse puis de passer à des SCV à bas niveau d'intrants avec présence de légumineuses. Au niveau des herbicides, l'utilisation du Gaucho pour protéger les semences reste généralisée.

Par ailleurs des conflits d'usages des terres et des ressources naturelles (élevage, matériel de chaume, chauffage...) ne permettent pas toujours aux agriculteurs de maintenir une couverture du sol suffisante pour diminuer l'érosion ou contrôler les adventices, notamment en Afrique sub-saharienne (Giller et al. 2009). Ainsi la compétition possible pour l'usage des résidus de culture nécessite de prendre en compte les interactions avec l'élevage (Lamantia 2012). Dans ce contexte, un projet sur le SCV au nord du Cameroun a travaillé pour l'augmentation de la production de fourrages dans certaines parties du terroir pour compenser les restrictions de pâture sur les parcelles en SCV (Dugué et al. 2012).

Enfin certains agriculteurs comme au Zimbabwe préfèrent ne pas mettre en place une rotation de culture qui pourrait compromettre la sécurité alimentaire de leur famille en l'absence de débouchés pour certains produits introduits en rotation (Mazvimavi et al. 2011). Par exemple, cette absence de débouchés ne permet pas toujours la valorisation de légumineuses, souvent conseillées en rotation culturale pour leur capacité à fixer l'azote. En l'absence de marché capable d'absorber cette production, l'agriculteur ne trouve pas d'intérêt à court terme d'introduire une rotation culturale.

Implications des différents acteurs pour la diffusion

La diffusion du SCV a été très rapide en Amérique latine, notamment au Brésil et en Argentine, en parallèle avec le développement des phytosanitaires. Cette diffusion est basée sur de grandes exploitations intensives avec une faible compétition des ressources naturelles telles que les pailles pour le fourrage. Certaines firmes ont proposé des paquets techniques comprenant des semences de soja transgénique pouvant être utilisées avec des herbicides spécifiques. De nombreuses associations d'agriculteurs ont vu le jour pour promouvoir le SCV, aider les adoptants lors de la période de transition et soutenir les agriculteurs en SCV. Elles ont eu un impact fort sur la diffusion du SCV au sein de leurs pays, en organisant des voyages d'échange et des conférences. Goulet et Hernández (2011) notent une forte implication d'agents de firmes agroindustrielles au sein des associations d'agriculteurs pour la promotion du SCV.

Le SCV a été soutenu par une partie de la communauté scientifique, mais est encore aujourd'hui au cœur de certains débats. En France, un retard a été pris par la recherche, notamment avec peu d'expériences réalisées par l'INRA. Ceci a fait naître des conflits entre le monde agricole et la recherche (Goulet 2008).

Le SCV est aujourd'hui reconnu par beaucoup d'institutions internationales dont la FAO comme une solution applicable à l'échelle mondiale, sans que cette reconnaissance ne soit nécessairement suivie par des évaluations du potentiel d'application selon les contextes locaux ou régionaux.

La diffusion des SCV reste relativement faible dans les petites exploitations familiales des pays du Sud, particulièrement en Asie et en Afrique. En Afrique sub-saharienne, la faible diffusion du SCV est en partie due aux spécificités des systèmes de production, avec des exploitations de faible taille et une forte intégration avec l'élevage qui induit une concurrence sur l'usage des résidus de culture. Par exemple, les projets de développement du SCV sur le coton au Nord Cameroun ou sur le riz et le maïs dans la région du lac Alaotra à Madagascar ont vu de faibles taux d'adoption (Lamantia 2012). La diffusion du SCV (via du soutien en matériel, des formations...) est toutefois plus importante en Afrique de l'Est, essentiellement sous l'impulsion d'ONG. Une étude au Zimbabwe (Mazvimavi 2011) révèle l'importance de ce soutien des ONG auprès des agriculteurs pour la mise en place et le maintien du SCV. La diffusion du SCV en Afrique de l'Ouest reste faible, mais commence à être ciblée par certaines ONG comme African Conservation Tillage Network (ACT).

c. Le Système de Riziculture Intensive (SRI)

Principe



Figure 6 : rizière en SRI - Opération de sarclo-binage dans une rizière inondée (gauche) ; rizière en période d'assec (droite) - source : TNAU Agritech Portal¹¹.

Le SRI a été développé à Madagascar dans les années 1980 par le Père Henri de Laulanié, un prêtre jésuite ayant une formation d'agronome et expatrié à Madagascar en 1961. L'objectif principal est l'augmentation des rendements. Cette pratique comprend de nombreux principes qui ne sont pas tous repris par les différents diffuseurs du SRI et qui diffèrent de la première définition qu'en avait donnée le père de Laulanié.

Les principes les plus importants du SRI sont :

- un repiquage du riz à un stade plus jeune (qui peut varier entre 8 et 15 jours, contre 30 à 45 jours pour une pratique traditionnelle),
- un repiquage d'un seul (voire 2) plant par trou, contre 5-6 pour une pratique traditionnelle,
- un espacement plus grand entre les plants repiqués (densité de semis moins grande),
- une gestion de l'eau dans la rizière avec une irrigation alternée à un assec, qui permet de garder le sol légèrement en dessous du seuil de saturation¹² et non pas le maintien d'une rizière continuellement inondée,
- un désherbage mécanique avec une sarclo-bineuse qui permet d'aérer le sol ainsi que de désherber (permis par l'alignement des plants lors du repiquage). En l'absence de sarclo-bineuse, le désherbage est réalisé manuellement,
- l'utilisation privilégiée de fumure organique (compostage ou fumier) pour la fertilisation des rizières et de la pépinière.

¹¹ <http://agritech.tnau.ac.in/sri.html> consulté le 7 février 2013

¹² Quantité d'eau pour laquelle le sol est entièrement gorgé d'eau

L'impact sur l'eau

Dans le SRI, le principe d'alternance de périodes d'irrigation et d'assec permet une économie notable en eau. En effet, l'absence d'une lame d'eau dans la rizière limite l'évaporation. Les irrigations sont plus fréquentes mais la quantité d'eau pour restaurer les sols en eau est faible comparé à l'irrigation nécessaire pour maintenir une lame d'eau de 5 cm environ. De plus, en système conventionnel, la totalité de la rizière est inondée pour irriguer la pépinière alors que cette dernière ne représente qu'une faible superficie de la rizière. Une évaporation importante et non souhaitable se fait sur le sol nu de la rizière non occupée par la pépinière. Cette perte d'eau est évitée dans le SRI.

Pour toutes les études consultées, des économies d'eau sont réalisées en SRI (cf. Tableau 5). Cependant les économies d'eau présentent une variabilité importante, allant de 10 à 60 %. Des économies d'eau sont constatées même dans le cas où la maîtrise de l'apport en eau n'est que partielle (tour d'eau imposé et peu adaptable par exemple) – cf. Styger (2009) au Mali.

Tableau 5 : exemples d'études de l'impact du SRI sur l'utilisation de l'eau et les rendements

Pays/région	Conditions d'application	Résultats pour l'eau	Rendements
Kenya (Ndiiri et al. 2012)	Conditions contrôlées sur 3 variétés de riz (Basmati, BW196, IR 2793-80-1) Conventionnel / SRI: - Même fertilisation - Repiquage : 28 / 8 jours - Espacement : 10*10 / 20*20 cm - Lane d'eau : 5 cm / alternance 2cm - sans lame	Économie d'eau entre 26 et 30 % Productivité (pluie et irrigation) de l'eau (kg/m ³) Conventionnel / SRI : - Basmati : 0,4 / 0,7 - BW196 : 0,2 / 0,5 - IR 2793-80-1 : 0,5 / 1	Augmentation de 11 à 51 % des rendements (t/ha) Conventionnel / SRI : - Basmati : 5,3/ 5,9 - BW196 : 3,9/ 5,9 - IR 2793-80-1 : 9,4/10,9
Mali (Styger 2009)	Chez le même agriculteur avec une parcelle témoin et une en SRI, et témoin chez un autre agriculteur. Estimation de la quantité d'eau par le temps d'irrigation pour chaque parcelle.	Économie d'eau estimée à environ 10 %. (réticence des agriculteurs à limiter l'irrigation, meilleur nivellement entraîne une irrigation plus efficace)	Augmentation de 66 % des rendements : - SRI 9,10 t/ha - Témoin chez l'agriculteur 5,49 t/ha - Témoin chez un autre agriculteur 4,86 t/ha
Sénégal (Krupnik et al. 2012)	Essais au champ sur 3 sites dans la Moyenne Vallée du Fleuve Sénégal, durant 3 saisons sur 2 ans. Pratique paysanne (PP) et Pratique de gestion recommandée (PGR) : engrais minéraux et herbicides, irrigation. SRI : engrais minéraux et sarcler, irrigation alternée avec assecs. Pratique paysanne adaptée (PPA) : engrais minéraux, désherbage mécanique et application localisée d'herbicides si nécessaire, irrigation alternée avec assecs seulement dans la dernière phase végétative.	Non mesuré.	Augmentation de 25 à 65 % des rendements en SRI par rapport aux pratiques paysannes (t/ha) : - PP : 5,2/4,4/4,6 - SRI : 7,8/5,5/7,6 - PGR : 7,5/5,5/7,5 - PPA : NA/6,0/7,7
Inde Andhra Pradesh (Adusumilli et Bagya Laxmi 2010)	Comparaison entre agriculteurs en conventionnel et agriculteurs pratiquant le SRI Consommation en eau approchée par les heures de pompage	Économie d'eau réalisée de 52 %.	Augmentation de 18 % des rendements en SRI : - 4,55 t/ha en conventionnel - 5,39 t/ha en SRI
Tamil Nadu (Geethalakshmi et al. 2011)	Conditions contrôlées, 2 saisons différentes (été et saison de mousson de l'Est) Conventionnel/ SRI: - Même fertilisation - Repiquage : 24 / 14 jours - Espacement 20*15/ 22.5*22.5 cm - 5cm constant / irrigation jusqu'à atteindre une lame d'eau de 2,5 cm, l'irrigation suivante se fait lorsque la terre est craquelée.	Économie d'eau de 12 à 15 % Productivité de l'eau (kg/m ³) Conventionnel / SRI: - été : 0,36 / 0,43 - mousson : 0,37 / 0,47	Augmentation de 5 à 6,7 % des rendements en SRI SRI : 6 et 6,7 t/ha Conventionnel : 5,7 et 6,3 t/ha
Pays d'Asie : Bangladesh, Cambodge, Chine, Inde, Indonésie, Népal, Sri Lanka, Vietnam. (Uphoff 2007 - cf. annexe 2)	Expériences réalisées chez les agriculteurs et un « Farmer Field School » (méthode de formation professionnelle agricole basée sur des démonstrations dans des champs écoles)	Réduction de 24 à 60 % de la consommation en eau	Augmentation des rendements de 21 à 105 %

Les performances agronomiques

La possibilité d'obtenir des rendements supérieurs en SRI représente le principal attrait de cette technique pour les agriculteurs. La comparaison est habituellement faite entre le SRI et le système de culture traditionnellement utilisé par les agriculteurs de la région. Différents résultats sont présentés dans le tableau 5. Dans toutes les expériences considérées, les rendements sont en augmentation mais avec une forte variabilité, de 5 à 105 %. Ainsi, la revue réalisée par Uphoff (2007) dans 8 pays d'Asie indique des augmentations de rendement allant de 21 % à 105 % (cf. Annexe 2). Une expérience en Inde, dans le Tamil Nadu, a montré des augmentations de rendement moins spectaculaires, de 5 à 6,7 % (Geethalakshmi et al. 2011). Là où elle a été calculée, la productivité de l'eau est plus élevée avec le SRI, avec des augmentations de 19 % à 150 %.

Plusieurs facteurs viennent expliquer ou influencer cette augmentation des rendements :

- La faible densité de repiquage du riz et son repiquage à un stade jeune peuvent permettre un tallage important du plant et un meilleur développement des racines.
- Le choix d'une variété, correspondant à un certain pouvoir de tallage, peut jouer sur l'augmentation de rendement en SRI par rapport au système conventionnel. Ainsi une expérience réalisée au Kenya (Ndiiri et al. 2012 – cf. Tableau 5) a utilisé des variétés différentes de riz. Les augmentations de rendement en SRI sont très variables (11 % pour Basmati, 51 % pour BW196 et 16 % pour IR). L'augmentation de rendement la plus faible a été obtenue pour la variété Basmati, qui a le moins bon tallage.
- Le potentiel d'augmentation de rendement dépend par ailleurs de la qualité du sol (Dobermann 2003). L'intérêt du SRI semble important dans des contextes de sols pauvres (sol acide, riche en Fe) et de faible intensification rizicole. En effet, sur sols pauvres, le développement racinaire est plus important en SRI grâce à l'oxygénation des sols, ce qui permet une meilleure absorption de nutriments qu'en système inondé. D'autre part, en système conventionnel, la lame d'eau présente en continu crée des conditions anaérobies et peut entraîner sur des sols pauvres une toxicité liée à l'accumulation de Fe^{2+} et H_2S , ce qui limite la réponse du riz à l'apport de fertilisants. Cependant le potentiel du SRI sur les sols riches a été peu étudié. Le phénomène de toxicité étant absent sur les terres les plus fertiles, le SRI pourrait ne pas conférer les mêmes avantages sur ces terres, dont la gestion est souvent déjà intensive et productive.
- Le potentiel d'augmentation de rendement dépend également du mode de fertilisation. Au Mali, sur des stations de recherche des périmètres irrigués rizicoles de l'Office du Niger, différents apports de fertilisants organiques et minéraux ont été testés sur des cultures en SRI (Bagayoko 2012). Il est apparu que les rendements augmentent significativement avec une combinaison d'un apport en fumure organique et d'un apport en engrais minéraux, comparativement à un apport en fumure organique seul. Ainsi, en appliquant la moitié des doses d'engrais minéraux recommandés (100 kg/ha d'urée et 50 kg/ha de DAP) et 5 t/ha de fumure organique, les rendements passent de 5,2 t/ha à 6,9 t/ha soit une augmentation de 32 %, comparativement à l'application de 5 t/ha de fumure organique uniquement. Un premier apport d'engrais minéraux, qui peut être inférieur aux doses recommandées, peut donc être intéressant pour augmenter les rendements tout en conservant les bénéfices liés à l'apport en fumure organique en termes de maintien de la fertilité des sols sur le long terme.
- La gestion de l'eau intervient également de manière importante. Les expériences menées par Bagayoko (2012) dans l'Office du Niger au Mali ont abouti à de bons rendements en SRI, variant de 6 à 9 t/ha sur 3 ans. Cependant, les fortes pluies et le système de drainage peu efficace des parcelles n'ont pas permis de réaliser de manière

satisfaisante l'alternance de périodes d'inondations et d'assecs. Selon l'auteur, ce facteur a limité les rendements obtenus et explique certainement en grande partie la différence avec d'autres expériences de SRI, où les rendements peuvent être supérieurs à 10 t/ha. A l'inverse, il est également important de noter que, dans certaines conditions, l'application d'une lame d'eau en continu dans le système de riziculture conventionnel permet de limiter certains risques spécifiques sur la production. Ainsi, en altitude à Madagascar, l'application d'une lame d'eau joue un rôle de tampon thermique en empêchant le gel des plants de riz, qui peut causer la perte de l'ensemble de la récolte. C'est pourquoi la culture de riz irrigué est possible à des altitudes plus élevées que le riz pluvial (sans lame d'eau) à Madagascar¹³.

- Le nivellement des parcelles est particulièrement important en SRI. En effet, si des parties dépressives subsistent dans le champ, les jeunes plants du SRI qui y sont placés risquent d'être submergés ou emportés lors de la première irrigation, comme observé au Sénégal, à Madagascar et en Inde (Krupnik et al. 2012).

Cependant, il s'agit de nuancer ce potentiel d'augmentation des rendements par le SRI en le comparant avec celui des pratiques culturales conventionnelles recommandées. En effet, les agriculteurs ne mettent pas forcément en œuvre les pratiques recommandées, par choix ou par contrainte (financière notamment), ce qui induit généralement des rendements inférieurs. La comparaison avec les résultats du SRI fait alors ressortir une différence de rendement significative. Pourtant, si les pratiques conventionnelles recommandées étaient mises en œuvre, la différence pourrait être moindre. Ainsi, McDonald et al. (2005) ont fait une comparaison du SRI avec les pratiques recommandées par l'International Rice Research Institute (IRRI). Celles-ci incluent une fertilisation des sols, une gestion de l'eau permettant le drainage des rizières, un nivellement des rizières (ces éléments faisant partie du SRI), un labour pour diminuer la pression des adventices et une gestion différenciée de la fertilisation du champ. Les résultats montrent une réponse différente selon la région du monde concernée. Dans les 9 pays d'Asie considérés dans l'étude, le rendement en SRI est parfois supérieur et parfois inférieur à celui obtenu avec les pratiques conventionnelles recommandées. A Madagascar par contre les rendements obtenus en SRI sont systématiquement supérieurs. Une autre expérience, menée au Sénégal (Krupnik et al. 2012), a également comparé les rendements obtenus en SRI (avec application d'engrais minéraux) et ceux obtenus avec les pratiques conventionnelles recommandées (cf. Tableau 5), les principales différences entre les deux pratiques se situant au niveau de l'irrigation (alternée avec assecs pour le SRI) et de la gestion des adventices (pas d'utilisation d'herbicides en SRI). Les rendements obtenus sont pratiquement égaux. Ce constat amène les auteurs à alerter sur les limites d'une comparaison faite uniquement entre SRI et pratiques paysannes. En effet le SRI apparaît alors comme la seule pratique permettant d'augmenter les rendements alors que les contraintes socio-économiques à son application peuvent aboutir à une adoption limitée. Au-delà des résultats en termes de rendement, une réflexion sur l'adaptation du paquet technique du SRI aux conditions locales, en intégrant d'autres pistes possibles pour l'augmentation des rendements, peut alors constituer une voie pour faire émerger des solutions ayant un meilleur potentiel de diffusion au niveau local.

¹³ Entretien avec Dominique Rollin, 13 juin 2012

Aspects économiques

Le SRI implique des modifications importantes dans la conduite du système de culture, qui ont un impact sur le niveau des charges:

- **Main d'œuvre** : le SRI peut représenter une réorganisation voire une augmentation du temps de travail (et donc des coûts supplémentaires) liées au repiquage en ligne, à la préparation de la rizière avec un labour et aplanissement, et au désherbage manuel en l'absence de sarclo-bineuse. Concernant le repiquage en ligne, il doit être plus méthodique que le repiquage conventionnel qui se fait de façon aléatoire, et il doit être fait plus tôt dans le cycle. Il peut impliquer un triplement du temps de repiquage (Styger 2009). Il correspond parfois à une période de pic de travail (Styger 2009) qui peut entraîner un repiquage de plants plus vieux¹⁴ ou le non respect du repiquage en ligne. Certains travailleurs agricoles considèrent que le repiquage en ligne demande une technicité supplémentaire et demandent donc pour ce travail un salaire plus élevé. Certains agriculteurs ayant une activité complémentaire de leur activité agricole préfèrent alors investir sur cette dernière activité, plus rémunératrice et moins soumise au risque (Jenn-Treyer et al. 2007), plutôt que d'investir leur temps de travail dans la mise en œuvre du SRI. C'est pourquoi l'adoption du SRI est potentiellement plus importante dans des régions avec une main d'œuvre disponible et chez les producteurs dont l'activité principale est l'agriculture. Cependant l'augmentation du temps de travail n'est pas systématique (diminution du temps de travail relevé par Adusumilli et Bhagya Laxmi (2010) sur une expérience en Inde).
- **Sarlo-bineuse** : l'absence de lame d'eau constante peut renforcer la présence des adventices. L'aération du sol par sarclo-binage est alors importante pour limiter la toxicité accumulée dans les sols pauvres mais également pour limiter le développement des adventices. L'achat d'une sarclo-bineuse peut représenter un coût important. Aussi, dans les programmes de diffusion du SRI, ce matériel est souvent mis à disposition ou donné aux agriculteurs. La production locale de sarclo-bineuse adaptée peut permettre de limiter son prix et de le rendre accessible même lorsque l'agriculteur réalise lui même cet investissement. En l'absence de sarclo-bineuse, le désherbage peut être réalisé manuellement, ce qui doit être intégré aux charges de main d'œuvre.
- **Semences** : le SRI peut permettre une économie importante de semences. La densité de repiquage et le nombre de plants par emplacement étant faibles, l'agriculteur a besoin de moins de semences pour repiquer la même superficie. D'après Africare, Oxfam America, WWF-ICRISAT Project (2010), la quantité de semence nécessaire en SRI est de 5 à 7 kg/ha contre 50 à 75 kg/ha en système conventionnel. L'expérience au Mali réalisée par Africare en 2008-2009 (Styger 2009) confirme cette affirmation avec une moyenne sur 60 agriculteurs de 6,1 kg/ha de semence contre 40 à 60 kg/ha de semence en système traditionnel.
- **Fertilisation** : le paquet technique « classique » du SRI privilégie l'utilisation de fumure organique par rapport aux engrais minéraux, ces derniers pouvant représenter une partie importante des charges. Toutefois la possibilité d'utiliser la fumure organique est variable selon les régions. En Afrique de l'ouest, la fumure organique éventuellement disponible peut faire l'objet d'une concurrence entre différents usages. Ainsi, lors des expériences menées au Sénégal par Krupnik et al. (2012), les paysans ont expliqué au cours de réunions de planification que si la matière organique est

¹⁴ Entretien avec Pierre Ferrand, 25 juillet 2012

disponible, ils préféreraient l'appliquer aux cultures maraichères de plus grande valeur plutôt que sur le riz. Le SRI a donc été testé en appliquant uniquement des engrais minéraux.

- Gestion de l'eau : le SRI peut permettre des économies d'eau d'irrigation significatives. Cependant la gestion de l'eau pour le SRI est contraignante et nécessite :
 - ✓ Une irrigation maîtrisée : la gestion de l'eau en SRI est possible en système irrigué mais pas en pluvial, où la dépendance vis-à-vis des pluies est trop forte. L'alternance de périodes d'irrigation et d'assecs peut être difficile à mettre en place dans des périmètres irrigués avec un tour d'eau imposé. Une entente entre les agriculteurs sur le tour d'eau peut être conclue pour résoudre ce problème¹⁵. Au Sénégal, lors d'expérimentations menées sur un même site de la Moyenne Vallée du Fleuve Sénégal (Krupnik et al. 2012), l'alternance de périodes d'irrigation et d'assecs a été beaucoup plus simple à mettre en place sur un petit périmètre privé que sur de plus grands périmètres avec gestion communautaire ou centralisée de l'irrigation.
 - ✓ Un nivellement de la rizière.
 - ✓ La présence d'infrastructures comme des diguettes entourant la rizière pour éviter les percolations.
 - ✓ Un système de drainage fonctionnel : un drainage suffisant est difficile à obtenir dans les régions de mousson où l'abondance des pluies excède la capacité de drainage de la rizière.

Cette pratique peut donc demander un coût de mise en place et d'entretien important en termes de temps et d'argent. Il n'est donc pas toujours évident pour les petits agriculteurs d'obtenir ces conditions optimales de gestion de l'eau.

Peu d'évaluations complètes ont été faites concernant les marges réalisées par l'agriculteur suite à l'adoption du SRI. Deux expériences, l'une d'Afrique au Mali (Styger 2009), l'autre en Inde par Adusumilli et Bhagya Laxmi (2010) évaluent la différence de marge pour des agriculteurs ayant adopté le SRI par rapport à des agriculteurs voisins n'ayant pas adopté le SRI. Ces deux expériences font état d'une augmentation d'environ 50 % de la marge par hectare pour le riz. Une forte diminution des coûts est observée dans les deux cas grâce à la diminution de la quantité de semences. Les rendements supérieurs entraînent une augmentation du produit de l'exploitation. Sur les autres dépenses liées au SRI, les résultats diffèrent. L'expérience au Mali montre une augmentation du temps de travail et des dépenses liées aux fertilisants, alors que l'expérience réalisée en Inde montre une diminution du temps de travail et de la quantité de fertilisant utilisée. Par ailleurs, les expériences au Sénégal réalisées par Krupnik et al. (2012) ont montré une augmentation de 8 à 151 % de la marge par hectare réalisé en SRI par rapport aux pratiques paysannes. En effet les charges liées à la main d'œuvre sont plus importantes, mais elles sont moindres pour les semences et les herbicides, avec des rendements supérieurs. Cependant on obtient des augmentations de marge similaires en appliquant les pratiques conventionnelles recommandées. Il s'agit donc de relativiser ce potentiel d'augmentation de la marge en SRI.

Pour faire face à certaines contraintes liées au SRI, notamment l'augmentation du temps de travail, des aménagements du paquet technique ont été proposés et testés. Ainsi une

¹⁵ Entretien avec Pierre Ferrand, 25 juillet 2012

expérience dans la Moyenne Vallée du Fleuve Sénégal a testé l'application d'une « Pratique Paysanne Adaptée » (PPA), qui est une combinaison des pratiques conventionnelles recommandées et du SRI (Krupnik et al., 2012). En effet, les agriculteurs trouvaient que la main d'œuvre nécessaire pour le SRI était trop importante, surtout pour la gestion du désherbage qui coïncidait avec les activités horticoles. A l'inverse, les paysans avaient jugé que le taux élevé d'herbicide prôné par les pratiques conventionnelles recommandées induisait des coûts trop importants, qui s'ajoutaient à des problèmes d'approvisionnement (livraison tardive des produits). La PPA, construite pour répondre à ces limites, utilise l'irrigation intermittente pendant la phase végétative tardive, la densité des cultures recommandée, et un seul tour de désherbage mécanique suivi d'une application localisée d'herbicides si nécessaire. Elle a permis d'obtenir les mêmes rendements que le SRI, en réduisant les besoins en main d'œuvre par rapport au SRI (réduction de 19 jour-personne/ha), et en diminuant la consommation d'herbicide (de l'ordre de 40 %) par rapport aux pratiques conventionnelles recommandées. Par ailleurs, la marge réalisée a été systématiquement supérieure à celle obtenue en SRI et à celle obtenue avec les pratiques conventionnelles recommandées (augmentations de 2 à 46 %).

Implications des différents acteurs pour la diffusion

La diffusion du SRI a été basée au départ sur l'action de nombreuses ONG. A Madagascar par exemple, l'association Tefy Saina fondée par le Père Henri de Laulanié promeut le développement du SRI. Certaines ONG (par exemple Africare, WWF, Oxfam, GRET, CEDAC...) ont permis de diffuser le SRI sur différents continents au travers de projets pilotes. Afin d'intéresser les agriculteurs à cette technique, les outils des champs de démonstration et des « Farmer Field Schools » ont souvent été utilisés.

Le SRI a commencé à être étudié par le monde scientifique suite au développement qu'il a connu sous l'impulsion de ces ONG. L'étude du SRI a débuté dans les années 2000 avec une division importante entre promoteurs et modérateurs du SRI. Norman Uphoff, professeur en sciences sociales à l'Université de Cornell (et ex-Directeur du CIIFAD¹⁶) a commencé à étudier le SRI dans le début des années 2000. Il a joué un rôle important dans la diffusion du SRI à travers de nombreuses communications, papiers scientifiques et voyages dans des pays rizicoles. En 2010, le SRI-Rice (SRI International Network and Resources Center) est fondé avec pour mission de partager l'ensemble des connaissances sur le SRI, sous la direction du CIIFAD. Le SRI-Rice bénéficie du soutien de la fondation Better U¹⁷.

Certains États d'Asie commencent à promouvoir la diffusion du SRI, notamment en Inde dans la province de Tamil Nadu et Andhra Pradesh par exemple, où les universités ont un rôle important dans la diffusion des principes de SRI auprès des agriculteurs.

Des bailleurs de fonds participent aujourd'hui à la promotion du SRI en s'associant à des ONG, comme l'a fait USAID avec Africare, pour la réalisation de formations dans de nombreux pays d'Afrique (Nigeria, Ghana, Bénin, Togo et Burkina Faso). Ces formations sont basées sur les outils pédagogiques développés par la Banque Mondiale¹⁸.

¹⁶ CIIFAD (Cornell International Institute for Food, Agriculture and Development) : soutient l'Université de Cornell dans ses actions visant à améliorer les conditions de vie des plus démunis à travers le développement de systèmes agricoles durables.

¹⁷ La Better U Foundation est une fondation créée par Jim Carrey avec pour but d'assurer la sécurité alimentaire à travers le développement du SRI.

¹⁸ Entretien avec Kokou Zotoglo, 17 juillet 2012.

d. L'irrigation au goutte-à-goutte

Principe

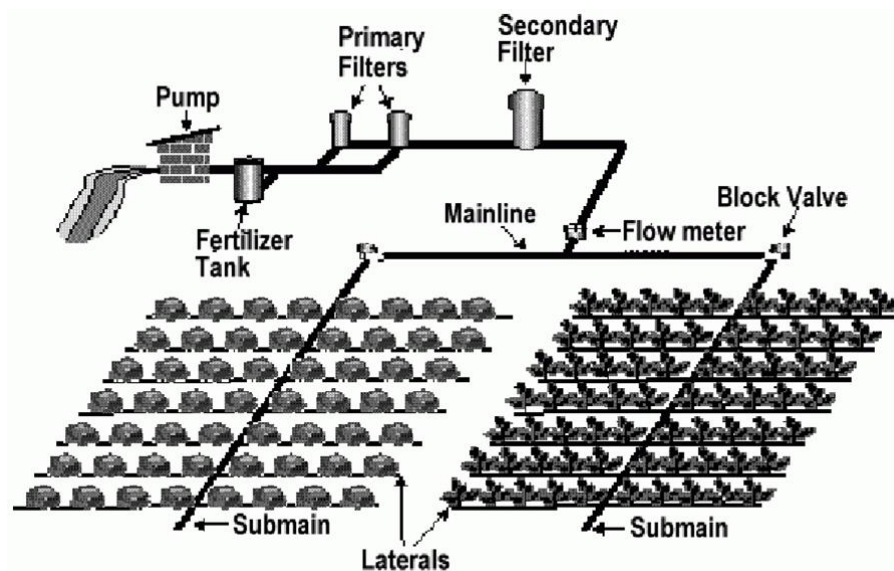


Figure 8 : composants d'un système d'irrigation au goutte-à-goutte (source : Reinders 2006).

Le goutte-à-goutte est un système d'irrigation sous pression qui, par l'utilisation de tuyaux (généralement en PVC) avec goutteurs, permet d'irriguer de façon localisée au plus près des racines de la culture (cf. Figure 8). L'eau est apportée à des débits réduits variant généralement de 0,2 à 20 L/h (Oumarou 2008). Les systèmes de goutte-à-goutte peuvent être plus ou moins complexes, avec l'utilisation de :

- un ou plusieurs filtres pour traiter l'eau avant l'envoi dans les tuyaux. Le goutte-à-goutte ne permet pas l'utilisation d'une eau de mauvaise qualité qui risque de boucher les goutteurs ou les tuyaux.
- un système de fertigation, qui consiste à injecter des éléments fertilisants avec l'eau dans les gaines (engrais solubles).

Daniel Hillel est considéré comme le concepteur du système de goutte-à-goutte, qu'il a commencé à expérimenter après la fin de la seconde guerre mondiale en Israël. Il a été récompensé en 2012 pour son travail sur le goutte-à-goutte par le World Food Prize, ce qui souligne l'intérêt grandissant que la communauté internationale porte à ces nouvelles technologies d'irrigation économes en eau.

Cette technique a connu une forte diffusion dans des pays comme les États Unis, mais également l'Inde et la Chine (cf. Figure 9). On peut noter que 3 pays possèdent un pourcentage élevé de terres irriguées en goutte-à-goutte par rapport à la superficie irriguée totale du pays: Israël, la Jordanie et Chypre. Les États Unis, l'Inde et l'Espagne ont des surfaces très importantes en goutte-à-goutte, même si pour l'Inde le goutte-à-goutte ne représente qu'un faible pourcentage du total de la superficie irriguée.

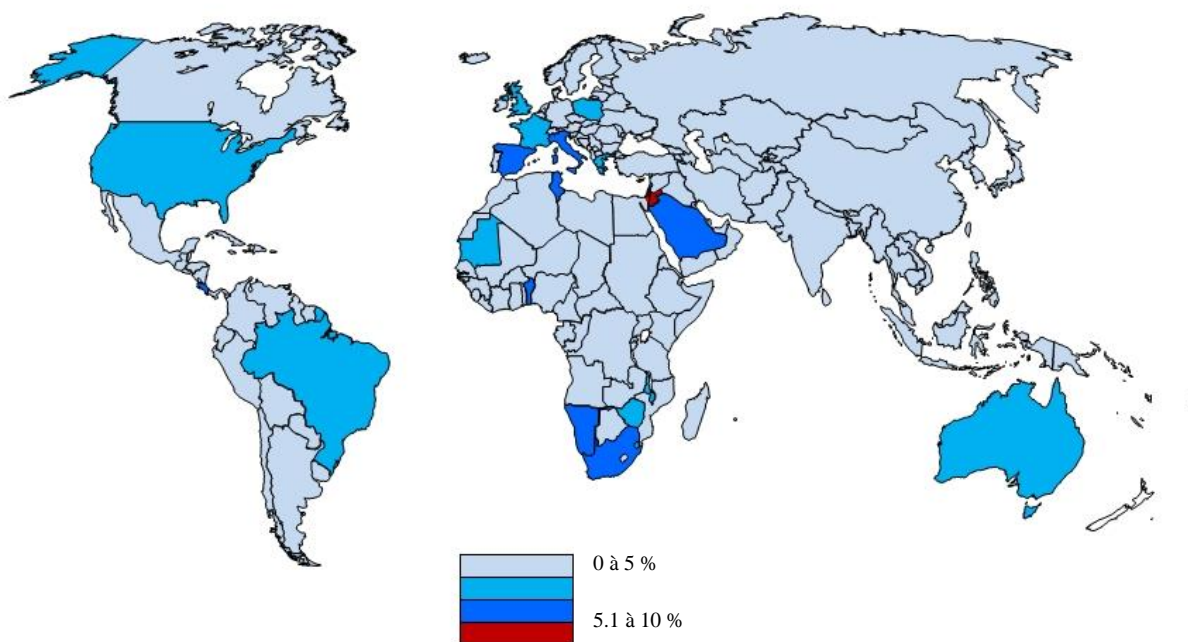


Figure 9 : part de la surface équipée en goutte-à-goutte dans la surface irriguée totale par pays dans le monde (source : auteurs, d'après les données de Kulkarni et al. 2006)

L'impact sur l'eau

Le goutte-à-goutte a été conçu pour réduire les pertes en eau d'irrigation à l'échelle de la parcelle. En le comparant à un système gravitaire (irrigation à la raie ou par submersion), très utilisé dans le monde, des économies en eau sont essentiellement faites au niveau du champ. L'eau est acheminée au niveau des racines de la plante, ce qui évite l'évaporation, le ruissellement et le drainage occasionnés en gravitaire par recouvrement de l'ensemble (par submersion) ou d'une partie (à la raie) du champ. Le goutte-à-goutte ne permet pas l'utilisation d'une eau de mauvaise qualité qui risque de boucher les goutteurs ou les tuyaux. Un système de filtres peut donc être nécessaire. Par ailleurs, la fertigation permise par le goutte-à-goutte permet d'amener de façon localisée les engrais à la plante, et ainsi de diminuer les risques de lessivage de ces engrais et de pollution des ressources en eau en aval. Le tableau 6 présente les résultats de plusieurs études menées dans différentes régions du monde comparant l'utilisation de l'eau en système de goutte-à-goutte et en système gravitaire.

Tableau 6 : exemples d'études de l'impact du goutte-à-goutte sur l'eau et les rendements

Pays	Conditions d'application	Économie en eau / Productivité de l'eau	Rendement
Inde (ensemble du pays) – Kumar et al. (2005)	Maraîchage (14 cultures différentes), cultures fruitières (7 cultures différentes), canne à sucre, coton, noix de coco, arachide. Données de stations de recherche sur l'ensemble du pays et 11 études basées sur des enquêtes dans des exploitations de différentes régions.	Économie d'eau en comparaison à une irrigation de submersion : - 12 à 84 % en station de recherche - 7 à 59 % en exploitation	Augmentation du rendement en comparaison à une irrigation de submersion : - 2 à 179 % en station de recherche - 3 à 50 % en exploitation
Niger (station de recherche de l'ICRISAT à Sadoré) Oumarou (2008).	Laitue : comparaison d'un système de goutte-à-goutte et d'un arrosage manuel : - 500 m ² pour les deux, même quantité d'eau et d'engrais, même techniques d'entretien. - Différence : type d'irrigation, mode d'application de l'urée (fertigation pour le goutte-à-goutte).	Volume d'eau appliqué identique. Augmentation de la productivité de l'eau de 46 % : - goutte-à-goutte : 10,43 kg/m ³ - arrosage manuel : 7,12 kg/m ³	Augmentation de rendement de 47 % : - goutte-à-goutte : 21,7 t/ha - arrosage manuel : 14,8 t/ha
Zimbabwe (Zholube), Maisiri et al. (2005)	Colza : comparaison d'un kit à faible coût avec une irrigation à la raie.	Économie d'eau de près de 50 % avec l'utilisation du goutte-à-goutte. Productivité de l'eau (rendement/eau d'irrigation) en goutte-à-goutte par rapport au gravitaire : - Sans engrais : 6,5 / 2,4 kg/m ³ - Fertilisation : 12,8 (fertigation) / 3,3 kg/m ³	Aucune différence significative du rendement entre les différents types d'irrigation. Une augmentation de rendement est observée avec la fertigation.
Tunisie (ensemble du pays) – Hamdane (2012)	Équipement de 135 000 ha en irrigation au goutte-à-goutte.	Efficiéce moyenne de l'eau de l'irrigation à la parcelle passée de 50-60 % à 70-80 %	Augmentation des rendements de 70 %
Ouzbékistan (Tashkent), Ibragimov et al. (2007)	Coton : comparaison à différents taux de saturation du sol du goutte-à-goutte avec l'irrigation à la raie.	Économie d'eau de 18 à 42 %. Productivité de l'eau (matière sèche/ évapotranspiration): - goutte-à-goutte : 0,63 à 0,88 kg/m ³ - gravitaire 0,46 à 0,50 kg/m ³ Productivité de l'eau d'irrigation (rendement supplémentaire en condition irriguée par rapport à la condition non irriguée/eau d'irrigation) : - goutte-à-goutte 0,82 à 1,12 kg/m ³ - gravitaire 0,55 à 0,62 kg/m ³	Augmentation de 10 à 19 % des rendements en goutte-à-goutte comparé à une irrigation à la raie.

En Inde, Kumar et al. (2005) ont réalisé une revue sur l'ensemble du pays des expériences disponibles en termes de micro irrigation et d'irrigation au goutte-à-goutte en particulier. La micro irrigation représentait en 2005 une très faible part (1,6 %) des surfaces irriguées du pays. Les expériences disponibles montrent des économies d'eau par rapport à une irrigation par submersion mais avec une forte variabilité. Par ailleurs les résultats obtenus en station de recherche (12 à 84 % d'économie d'eau) sont meilleurs que ceux recensés dans les exploitations (7 à 59 %). Les auteurs expliquent ce résultat par le fait que les stations de recherche peuvent réunir les conditions les plus favorables. Ils indiquent également que ces résultats doivent être analysés avec précaution, car les systèmes d'irrigation par submersion servant de point de comparaison ne sont pas forcément gérés de manière optimale, ce qui peut induire une comparaison plus favorable au goutte-à-goutte. Les auteurs suggèrent également que l'économie d'eau serait plus importante pour les cultures où l'espacement entre les plants est grand, comme pour de nombreux légumes. En effet, la surface entre les plants exposée à l'ensoleillement et au vent est plus grande pour ces cultures. Avec une irrigation par submersion, l'eau évaporée sera donc plus importante ce qui renforce l'intérêt du goutte-à-goutte. Au niveau des rendements, il y a également une augmentation mais qui est elle aussi très variable : de 2 à 179 % en station de recherche et de 3 à 50 % en exploitation.

Au Niger, l'expérience documentée par Oumarou (2008) a comparé les résultats pour une culture de laitue en goutte-à-goutte et en arrosage manuel (par arrosoirs) sur une surface de 500 m², les engrais et le volume d'eau appliqués étant les mêmes. Le rendement en goutte-à-goutte apparaît nettement supérieur à celui obtenu par l'arrosage manuel (différence de 47 %), ce que l'auteur explique par la technique d'irrigation en goutte-à-goutte et la fertigation. De même, la culture de coton en Ouzbékistan montre une augmentation des rendements en goutte-à-goutte par rapport à une irrigation à la raie, ainsi qu'une économie en eau, ce qui entraîne une augmentation de la productivité de l'eau. Au contraire, malgré une économie d'eau dans l'expérience au Zimbabwe sur du colza, les rendements en goutte-à-goutte et en irrigation à la raie ne sont pas significativement différents, ils le sont seulement lors de la mise en place d'une fertigation. La productivité de l'eau est néanmoins augmentée.

Outre ces études à l'échelle de la parcelle, on peut noter la diffusion à grande échelle de l'irrigation au goutte-à-goutte dans certains pays. Ainsi, en Tunisie, 135 000 ha sont aujourd'hui équipés selon les techniques d'irrigation localisée, pour une superficie totale équipée pour l'irrigation de 420 000 ha. Des estimations indiquent que l'efficacité de l'eau moyenne de l'irrigation à la parcelle serait passée de 50-60 % à 70-80 % grâce aux nouvelles techniques introduites, et que les rendements des cultures auraient augmenté de l'ordre de 70 % (Hamdane 2012).

Sur l'ensemble de ces expériences, on observe donc des économies d'eau réalisées par la mise en place du goutte-à-goutte allant de 18 à 50 % comparé à une irrigation à la raie, et de 7 à 84 % en comparaison avec un système d'irrigation par submersion. Ces économies sont donc très variables en fonction des cultures et des régions où le goutte-à-goutte est mis en place.

On peut noter que l'économie d'eau n'est pas toujours réalisée si la gestion du système est mauvaise. Dans une enquête auprès de 14 agriculteurs dans la basse vallée de Medjerda (Tunisie), Slatni et al. (2004) ont relevé que 30 % des agriculteurs apportaient un surplus de 150 mm d'eau à la culture de tomate par rapport aux besoins de la plante. Malgré la possibilité de diminuer les apports d'eau avec le système de goutte-à-goutte, certains agriculteurs continuent à avoir une gestion de l'irrigation comparable à celle en système gravitaire.

Par ailleurs l'économie en eau réalisée par le système de goutte-à-goutte peut être compensée par l'augmentation de surface, ou le nombre de cycles réalisés par an. Ainsi une modélisation du comportement d'agriculteurs par Le Goulven et al. (2009) basée sur le cas du bassin du Merguellil (Tunisie), confirmée par des enquêtes de terrain, montre que les agriculteurs adoptant le goutte-à-goutte ont tendance à augmenter la surface sous ce système et à multiplier le nombre de prélèvements d'eau. Ce comportement aboutit à une baisse du niveau de la nappe phréatique modélisée. Le goutte-à-goutte permet également une culture de contre saison, ce qui peut engendrer une pression supplémentaire sur les réserves en eau au moment où elles sont peu renouvelées. Toutefois, Kumar et al. (2005), en s'appuyant sur des cas d'études en Inde, rappellent que la mise en œuvre de systèmes d'irrigation localisée ne conduit pas forcément à des augmentations des surfaces irriguées. En fait, cela dépendra de plusieurs facteurs : disponibilité de l'eau et de l'énergie (nécessaire pour l'exhaure et l'acheminement de l'eau), disponibilité des terres et des ressources financières, et cultures pratiquées.

Les performances agronomiques

Le goutte-à-goutte permet souvent une augmentation de rendement, mais cela n'est pas vérifié dans tous les cas. Le tableau 6 montre une augmentation des rendements variable, de 2 à 179 %, mais également des rendements identiques à une irrigation à la raie. Cependant, l'économie en eau réalisée permet d'obtenir des augmentations de productivité de l'eau de 37 à 288 %. Au-delà de l'analyse sur les rendements, il est important de noter que l'introduction du goutte-à-goutte peut permettre de réaliser des cultures de contre saison et ainsi de réaliser plusieurs cultures par an. Le goutte-à-goutte peut également permettre de pratiquer l'irrigation sur des terrains irréguliers.

La fertigation semble jouer un rôle important dans l'augmentation des rendements, celle-ci apparaissant comme plus efficace que la fertilisation par épandage traditionnel d'engrais dans plusieurs études (cf. tableau 6 – études au Niger et Zimbabwe). L'efficacité du goutte-à-goutte dépend de la culture considérée et de la nature du sol. En présence d'un sol drainant, un système de goutte-à-goutte à basse pression diminue les risques de déficit hydrique de la plante, et donc de baisse de rendement.

Une diminution de la pression des adventices est observée. L'apport localisé de l'eau et des nutriments limite le développement des adventices. De plus, certaines maladies se propagent par l'impact des gouttes d'eau sur les feuilles (ex : rouille brune) ou se développant grâce à une humidité des parties aériennes de la plante (ex : pyrale du maïs) se développent moins que par une irrigation par aspersion¹⁹.

La qualité du produit peut également être améliorée : au Burkina Faso, il a été constaté que les oignons produits ont une période de conservation plus longue, car ils sont moins gorgés d'eau (Eau Vive 2011).

L'irrigation par goutte-à-goutte, en réduisant la quantité d'eau apportée limite l'apport de sels sur une parcelle. Cependant, si des pluies importantes n'ont pas lieu, le sel ne peut pas être ressuyé et son accumulation sur le long terme va avoir un effet négatif sur la culture. Une étude en Afrique du Sud (Karlberg et al. 2007) a montré une faible salinisation du sol sur un an avec l'utilisation d'eau saline, donc une faible détérioration de la qualité du sol. Cependant, l'impact de l'irrigation par des eaux salines en goutte-à-goutte doit être évalué sur plusieurs années.

¹⁹ Entretien avec Dominique Rollin, 13 juin 2012

Le système de goutte-à-goutte encourage à réaliser plusieurs cultures par an, pouvant aller jusqu'à trois²⁰. Plus les exportations au champ sont importantes, plus elles devront être compensées par une fertilisation, c'est pourquoi l'introduction du goutte-à-goutte doit être couplée à une fertilisation adéquate afin de ne pas épuiser les sols. Le goutte-à-goutte encourage également le passage à une culture à plus forte valeur ajoutée (arboriculture, maraîchage...) et demande une réorganisation des assolements. Au Maroc, l'augmentation des terres cultivées avec un système de goutte-à-goutte a engendré une diminution de la surface céréalière et ainsi diminué la quantité de fourrages disponibles (Force 2011).

Le gain de temps de travail réalisé grâce au goutte-à-goutte et la diminution de la pénibilité du travail peuvent être très significatifs. Par exemple, une exploitation de 180 ha d'agrumes nécessite une quinzaine d'ouvriers pendant 20 jours pour une irrigation à la robta²¹ dans le Gharb (Maroc) alors qu'en goutte-à-goutte seule une personne est nécessaire pour gérer les électrovannes permettant l'irrigation (Force 2011). Certains kits de goutte-à-goutte à bas coûts demandent au contraire de la main d'œuvre pour le remplissage manuel des bidons d'eau et l'entretien du système – 80 % des agriculteurs s'en plaignent dans une expérience au Zimbabwe avec un système de goutte-à-goutte à bas coût commercialisé par Plastro® (Maisiri et al. 2005).

L'organisation du travail sur l'exploitation est primordiale avec le système de goutte-à-goutte. Lorsque le champ est utilisé pour une autre culture, un travail supplémentaire doit être fait pour installer et enlever le matériel. C'est pourquoi un goutte-à-goutte enterré en dessous du seuil de labour peut être avantageux. Le démarrage du cycle de la culture en goutte-à-goutte dépend du cycle des cultures considérées prioritaires, et des pics de travail correspondant aux travaux de mise en place de la culture en goutte-à-goutte.

Aspects économiques

Le gain de temps de travail réalisé par l'adoption du goutte-à-goutte permet de faire une économie sur la main d'œuvre, même si la technicité exigée par la mise en œuvre du système demande une main d'œuvre plus qualifiée donc plus chère. L'économie de temps réalisée peut permettre à l'agriculteur de diminuer ses coûts ou de diversifier ses activités. Force (2011) estime que les frais de main d'œuvre sont divisés par 5 dans le Gharb (Maroc) lors du passage au goutte-à-goutte, passant de 1500 à 300 dirhams/jour (soit environ 136 euros/jour à 27 euros/jour). Au Niger, l'expérience menée par Oumarou (2008) sur la laitue indique que le goutte-à-goutte nécessite deux fois moins de main d'œuvre que l'arrosage manuel (par arrosoir). Toutefois, Woltering (2010) note que l'économie en travail peut être marginale voire nulle sur des systèmes maraîchers de très petite taille, comme le système de 80 m² du Jardin Potager Africain. En effet le réservoir est rempli manuellement ce qui représente peu d'avantage par rapport à l'arrosage manuel. Les gains en main d'œuvre sont obtenus sur des systèmes plus grands (500 m²) avec pompage.

²⁰ Entretien avec Laurent Stravato, 21 juin 2012

²¹ « La parcelle est découpée en plusieurs petits bassins élémentaires (ou média) dont les dimensions moyennes sont de 40 m². Ces bassins sont alimentés par des canaux (seguias) de distribution en terre qui sont alimentés à partir d'une seguia mère qui est alimentée à son tour à travers une brèche opérée sur le canal arroseur. » - source : Belabbes K. (2004), Ecobilans appliqués à l'agriculture et Formation de Conseillers agricoles en environnement au Maroc (EFCA-PIP) - Élaboration d'un modèle d'écobilan pour l'évaluation environnementale de l'agriculture irriguée au Maroc, Cas du périmètre irrigué de Tadla.

La plus faible quantité d'eau pompée lors de l'utilisation du goutte-à-goutte va permettre à l'agriculteur de diminuer l'énergie nécessaire au pompage de cette eau. Cependant dans des systèmes de goutte-à-goutte sous pression, l'énergie nécessaire pour mettre l'eau sous pression doit être prise en compte (équivalent à élever l'eau à une hauteur plus importante).

La question de l'investissement dans l'équipement en goutte-à-goutte et de son entretien est centrale. Le frein majeur à l'adoption du goutte-à-goutte reste l'investissement initial qu'il représente, mais celui-ci est variable. En France, l'investissement peut représenter de 2 000 à 5 000 euros /ha en considérant l'ensemble du matériel à acquérir (notamment station de pompage de tête, bac de fertigation, filtres²²). En Tunisie, l'installation d'un goutte-à-goutte équipé de goutteurs régulateurs de pression aux normes oscille autour de 1670 euros/ha, alors que des systèmes de tuyaux en plastique à bas coût sans goutteurs facilement démontable mais avec une durée de vie plus courte peuvent coûter environ 280 euros/ha (Le Goulven et al. 2009). En Afrique de l'ouest, le coût d'installation est de l'ordre de 2 à 4 millions de FCFA par ha en fonction du type de culture (i.e. de 3 000 à 6 000 euros par ha). Le mode d'accès à l'eau (privé, collectif de petite taille ou grands périmètres) est également un paramètre important. En effet, l'existence d'un tour d'eau peut nécessiter la construction d'un système de stockage de l'eau à proximité des parcelles (bassin par exemple) permettant de stocker l'eau du tour d'eau pour pouvoir la réutiliser au moment choisi avec le goutte-à-goutte. Dans ce cas le coût d'installation peut augmenter. Par ailleurs, en Inde, Kumar et al. (2005) ont montré que le type de culture peut avoir un impact significatif sur les coûts d'installation : ainsi pour des cultures à plants plus espacés (manguiers, orangers), le coût de l'investissement à l'hectare peut être divisé par trois par rapport à d'autres productions.

Au Maghreb, la mise en œuvre de politiques nationales visant à diffuser l'irrigation au goutte-à-goutte s'accompagne de fortes subventions pour faire face à ce coût d'investissement important, comme au Maroc et en Tunisie. Des processus dits « informels » de conseil et revente de matériel d'occasion ont également vu le jour (Force 2011).

Par ailleurs, des initiatives ont été développées pour mettre au point et diffuser des systèmes d'irrigation adaptés à différentes superficies et à bas coûts, afin de rendre la technologie plus accessible aux petits agriculteurs dans les pays du Sud. Ainsi l'ICRISAT (Institut International de Recherche sur les Cultures des Zones Tropicales Semi Arides) a développé le système de Jardin Potager Africain, qui a été introduit au Niger à partir de 2001. Il est basé sur un système d'irrigation au goutte-à-goutte sur 500 m² (avec des gaines fabriquées par Netafim) alimenté par un réservoir de 4 m³ placé à une hauteur de 1 mètre. Par ailleurs, l'ONG IDE a mis au point des systèmes permettant d'irriguer des surfaces de 10 à 1 000 m² (l'eau est stockée dans des seaux ou des fûts surélevés puis envoyée dans les gaines), qui ont été utilisés en Inde et au Kenya (Oumarou 2008). Au Burkina Faso, IDE conçoit et commercialise des kits de goutte-à-goutte (cf. Tableau 7) pour des surfaces réduites (20, 50, 100, 200 ou 500 m²) et avec un dispositif simplifié destiné à réduire les coûts. L'objectif est de permettre aux petits producteurs d'obtenir un retour sur investissement après une campagne de maraîchage. Le kit comprend les gaines avec deux filtres à faible coût et des microtubes. Le réservoir, placé sur un support qui permet de le surélever l'eau (de 1 à 5 m) pour augmenter la pression du système, ainsi que des filtres produits localement, complètent ce kit.

²² Entretien avec Patrick Rosique, 13 juin 2012

Tableau 7 : prix des kits de goutte-à-goutte commercialisés par IDE au Burkina Faso
(Source : document de présentation du système de goutte-à-goutte IDEal commercialisé par IDE)

Packs	Kits	Réservoir	Support	Filtre	Prix Total
100 m ²	25 000 FCFA	20 000 FCFA	7 000 FCFA	1 200 FCFA	53 200 FCFA
500 m ²	85 000 FCFA	65 000 FCFA	44 000 FCFA	6 000 FCFA	200 000 FCFA

(1000 FCFA ≈ 1.52 euros)

Le projet d'IDE au Burkina Faso estime à 3 ans la durée de vie d'un kit d'irrigation²³. Des expérimentations menées sur le terrain par IDE Inde ont montré que certains systèmes ont une durée de vie plus longue (plus de 5 ans). Cependant, des dégradations par des rongeurs ou le passage d'animaux (obligeant à clôturer le champ) ou encore le vol de matériel peuvent diminuer la durée de vie d'un système de goutte-à-goutte.

Toujours afin de faire baisser les coûts d'installation, différentes options peuvent être envisagées pour le mode d'approvisionnement en eau. Ainsi l'existence d'un petit barrage surélevé par rapport au champ peut fournir un approvisionnement en eau à basse pression, de même que le raccordement à un puits artésien existant (Woltering 2010). Des systèmes de pompage par énergie solaire ont également été testés au Bénin par l'ONG SELF - Solar Electric Light Fund (Burney et al. 2010).

Par ailleurs, le montage d'un projet collectif d'irrigation au goutte-à-goutte peut réduire les coûts d'installation par la mutualisation des équipements. Ainsi, des systèmes de Jardin Potager Africain où 10 producteurs se regroupent (500 m² chacun) représentent des coûts par m² divisés par 2 par rapport à la même surface installée individuellement (500 m² en individuel) – Woltering (2010).

L'entretien d'un système au goutte-à-goutte représente également un coût, ainsi que le renouvellement du matériel. Les subventions à l'investissement apportées par certains États pour le goutte-à-goutte (jusqu'à 80-100 % au Maroc par exemple) peuvent donner l'impression que le coût de mise en œuvre du système est minime. Cependant le goutte-à-goutte nécessite un entretien réalisé par un ouvrier compétent et un renouvellement de l'équipement qui n'est pas toujours subventionné.

Le marché de fourniture de matériel, mais également de service après vente du matériel doit être disponible pour assurer aux agriculteurs la possibilité d'investir sans craindre un suivi insuffisant qui rendrait leur investissement inexploitable. Cet enjeu est particulièrement fort pour les exploitations petites et moyennes des pays en développement, où ce type de marché n'est pas forcément suffisamment structuré.

Le choix des cultures en irrigation au goutte-à-goutte est également crucial, car l'investissement initial doit pouvoir être rentabilisé. Le système de goutte-à-goutte est principalement utilisé pour des cultures de maraîchage et d'arboriculture pour leur haute valeur ajoutée, notamment au Maghreb. Il a été développé pour des grandes cultures comme la canne à sucre voire du maïs suite à la diminution du coût du système, mais l'adoption du

²³ Entretien avec Laurent Stravato, 21 juin 2012

goutte-à-goutte sur des cultures à plus faible valeur ajoutée reste à la portée des grandes exploitations et non des petits agriculteurs. Les kits de goutte-à-goutte développés pour les petits agriculteurs sont principalement destinés à une agriculture maraîchère, proche de la gestion d'un jardin. Il est important pour l'agriculteur d'avoir un débouché fiable pour sa production, ce qui implique un marché de son produit qui soit structuré, surtout pour des denrées périssables. Malheureusement ceci n'est pas toujours le cas pour les produits du maraîchage dans beaucoup de pays en développement (Afrique de l'Ouest, Cambodge). Au Bénin, une expérience d'introduction du goutte-à-goutte pour le maraîchage dans deux villages a permis aux groupements de femmes concernés d'augmenter leurs revenus par la vente des produits mais aussi, préalablement, de bénéficier d'un apport nutritionnel supplémentaire et diversifié (Burney et al. 2010).

L'ensemble de ces paramètres conditionnent la viabilité économique d'un équipement en goutte-à-goutte. En Inde, Kumar et al. (2005) ont analysé les différentes études disponibles, qui montrent que le goutte-à-goutte est viable pour de nombreuses cultures en maraîchage, cultures fruitières et canne à sucre, car ces cultures sont à forte valeur ajoutée. Au Niger, l'expérience menée par Oumarou (2008) montre que, sur la laitue, la marge est augmentée de 60 % avec le goutte-à-goutte par rapport à l'arrosage manuel. En effet, les coûts d'installation sont plus élevés en goutte-à-goutte, mais les coûts de fonctionnement sont plus faibles (notamment pour la main d'œuvre) et l'augmentation de rendement entraîne une augmentation des produits de l'exploitation. Certaines études montrent que le système peut également avoir un ratio bénéfices / coûts intéressant avec des céréales, que les auteurs expliquent par les pertes importantes de rendement liées au stress hydrique évitées par le goutte-à-goutte (Kumar et al. 2005). Les résultats peuvent varier fortement en fonction de différents facteurs agro-économiques : une étude sur la culture de luzerne dans le nord de l'état du Gujarat en Inde montre une forte variabilité du ratio bénéfices / coûts (du simple au double) en fonction de l'augmentation des rendements, l'économie en main d'œuvre, l'économie d'eau et du coût de l'énergie (Kumar et al. 2005).

Implications des différents acteurs pour la diffusion

La diffusion du système de goutte-à-goutte s'appuie fortement dans les pays développés sur les grandes entreprises de vente de ce système (Jain Irrigation Systems Ltd, Plastiro Irrigation Systems Ltd, Netafim).

En Asie (Bangladesh, Cambodge et certaines zones en Inde), certaines initiatives comme celles d'IDE ont permis, par leur prix et l'adaptation du système à de petites surfaces, de rendre accessible le goutte-à-goutte aux petits producteurs en parallèle avec le développement de systèmes d'exhaure (pompes à pédales par exemple). Le matériel de goutte-à-goutte est vendu en kit, et adapté à une certaine surface. En Inde, des subventions publiques à l'équipement ont été mises en place, par exemple dans l'état du Gujarat où des petits exploitants ont pu en bénéficier (Kumar et al. 2005).

L'implication de l'État joue également un rôle important dans la diffusion du goutte-à-goutte dans les pays du Maghreb. Ainsi en Tunisie, à partir de 1995, les équipements en irrigation localisée (dont le goutte-à-goutte) ont été fortement subventionnés (40 %, 50 % et 60 % respectivement pour les grandes, moyennes et petites exploitations agricoles ; 50 % pour le renouvellement avec plafonnement de la subvention). Aujourd'hui, 135 000 ha sont équipés selon les techniques d'irrigation localisée, pour une superficie totale équipée pour l'irrigation de 420 000 ha (Hamdane 2012).

Au Maroc, la stratégie agricole nationale développée depuis 2008, le Plan Maroc Vert, inclut le Programme National d'Économie d'Eau en Irrigation (PNEEI) avec pour objectif la conversion à l'irrigation localisée de 550 000 hectares de surfaces irriguées. L'irrigation localisée représente actuellement 211 000 hectares et 14,5 % des surfaces irriguées. L'irrigation localisée passerait alors à 48 % des surfaces irriguées (Imache et al., 2011). Pour soutenir cette reconversion, le gouvernement a mis en place des subventions, qui s'élevaient de 80 à 100 % du montant de l'investissement en 2010. Les règles concernant la subvention d'installation du goutte-à-goutte en collectif et la subvention à 100 % des exploitations de moins de 5 ha (Benouniche et al. 2011) visent l'ouverture de la technologie aux petits exploitants. Toutefois, le matériel subventionné doit respecter certaines normes, et ne permet pas la subvention de matériel non homologué mis en œuvre de manière informelle dans les petites exploitations. De plus, le montage des dossiers de subvention peut être perçu comme complexe par les petits agriculteurs. Les associations d'usagers de l'eau agricole (AUEA) lorsqu'elles sont actives peuvent jouer un rôle dans la diffusion du goutte-à-goutte grâce à une communication entre ces usagers (Force 2011).

La formation professionnelle représente également un outil important. Au Maroc, dans un contexte de réforme du système de conseil agricole (promotion du conseil par le secteur privé notamment), le projet pilote de Réseau des irrigants méditerranéens (RIM) teste des approches innovantes de formations professionnelles sur les économies d'eau en irrigation et le développement des filières, au bénéfice de groupements paysans de l'agriculture familiale. Cette approche, reliant la recherche, l'action et le développement, a permis de développer les compétences techniques et de montage de projet des petits agriculteurs irrigants dans le cadre de la reconversion du gravitaire au goutte-à-goutte (Imache et al. 2011). On peut également noter, en Inde, le projet « Tamil Nadu Drip Irrigation Project » (TND RIP) lancé en 2009 par l'IWMI, l'université d'agriculture du Tamil Nadu, le département d'agriculture de l'Etat et l'entreprise Jain Irrigation Systems (IWMI, 2013). Ce projet développe des formations à destinations des producteurs centrées sur les aspects techniques et la gestion de l'irrigation au goutte-à-goutte, en y associant des approches agro-écosystémiques comme le vermicompostage²⁴, et des outils de calcul des besoins en eau et de planification de l'irrigation. Le projet a concerné 1 000 agriculteurs dans 3 districts dans une première phase, et est actuellement déployé dans d'autres districts et dans l'État du Gujarat.

Des projets de diffusion sont également menés en Afrique de l'Ouest. Ainsi IDE met en œuvre une stratégie de diffusion basée sur le marketing, comprenant des sites de démonstration, des magasins de distribution et des conseillers de business agricole. La promotion et la vente sont organisées à partir de points de ventes proches des agriculteurs. Les conseillers rattachés à IDE vont à la rencontre des agriculteurs pour les aider à mettre en œuvre le goutte-à-goutte et vendre le kit d'IDE, conçu pour des surfaces réduites et avec un dispositif simplifié destiné à réduire les coûts²⁵. Par ailleurs, le projet de l'ICRISAT de Jardin Potager Africain (African Market Garden) vise à mettre en place plusieurs centaines de sites par pays sur 10 pays d'Afrique de l'Ouest (Cap Vert, Mauritanie, Sénégal, Gambie, Guinée Bissau, Mali, Burkina Faso, Ghana, Niger et Tchad).

²⁴ Le vermicompostage (ou lombricompostage) est une méthode écologique de valorisation et de transformation des déchets biodégradables en engrais naturel fondé sur l'utilisation de vers de compost.

²⁵ Entretien avec Laurent Stravato, 21 juin 2012

e. Synthèse des résultats

Tableau 8 : impacts sur l'eau, les rendements et les systèmes de production du zaï, SCV, SRI et irrigation au goutte-à-goutte dans les pays en développement.

Pratiques	Zaï	Semis direct sur Couverture Végétale	Système de Riziculture Intensive	Irrigation au goutte à goutte
Pays correspondant aux études consultées	Burkina Faso, Niger	Cameroun, Ethiopie, Kenya, Nigeria, Zimbabwe, Maroc, Mexique, Cambodge, Inde	Kenya, Mali, Sénégal, Bangladesh, Cambodge, Chine, Inde, Indonésie, Népal, Sri Lanka, Vietnam	Inde, Niger, Zimbabwe, Tunisie, Ouzbekistan
Principales cultures concernées	Mil, sorgho	Céréales (maïs, blé, riz, sorgho), oléagineux (soja, colza), coton	Riz	Maraîchage, arboriculture, céréales, coton, oléagineux
Impact sur la gestion de l'eau (ordres de grandeur)	Captage de 25 % du ruissellement de la zone d'impluvium dans un poquet de zaï, augmentation de la profondeur du front d'humectation du sol en zaï mécanisé.	Diminution de 48 % du ruissellement , augmentation de l'humidité du sol et de la profondeur du front d'humectation, diminution des pertes en eau dues au retournement de la terre, engorgement sur certains sols.	Economies d'eau d'irrigation de 10 à 60 %	Economies d'eau d'irrigation de 7 à 84 % . Economie d'eau parfois compensée par une augmentation de la surface irriguée ou du nombre de cycles réalisés par an.
Impact sur les rendements (ordres de grandeur)	Passage de la gamme 0-600 kg/ha à la gamme 500 - 1200 kg/ha - augmentations de 60 à 120 %. Facteurs de variation: apport en fumure organique. Maintien de rendements plus élevés en condition de sécheresse.	Augmentation ou diminution des rendements - écarts pouvant être supérieurs à 1 t/ha de céréales dans un sens ou dans l'autre. Maintien de rendements plus élevés en situation de faible pluviométrie.	Augmentation de 5 à 105 % . Facteurs de variation : variété utilisée, qualité des sols, maîtrise de l'eau (irrigation et drainage), fertilisation organique et minérale.	Augmentation de 2 à 179 % . Facteurs de variation : culture considérée, mode de fertilisation (fertigation), nature du sol.
Autres avantages	Mise en culture de terres dégradées, combinaison avec d'autres techniques de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux).	Diminution de l'érosion, diminution des coûts énergétiques grâce au non labour.	Diminution des semences utilisées, des herbicides et de l'eau d'irrigation.	Diminution du temps de travail, des adventices et de l'eau d'irrigation, cultures à plus forte valeur ajoutée, diversification alimentaire, qualité du produit, augmentation du nombre de cycles par an, possibilité d'irriguer sur des terrains irréguliers.
Autres limites	Disponibilité de la fumure organique, temps de travail important et pénibilité (zaï manuel), coût d'équipement en traction animale (zaï mécanisé).	Dépenses nécessaires pour des semences différentes ou supplémentaires, le semoir spécifique si pas de semis manuel, les engrais minéraux et les produits phytosanitaires. Compétition possible avec d'autres usages des résidus de culture. Nécessite un débouché pour les cultures de rotation.	Augmentation du temps de travail, achat d'une sarco-bineuse si pas de désherbage manuel, disponibilité de la fumure organique, contraintes de maîtrise de l'irrigation.	Investissement important et coûts d'entretien et de renouvellement, existence d'un marché de fourniture de matériel, disponibilité de l'eau en quantité et qualité suffisantes.

3. Problématiques transversales et pistes de travail

3.1 Des problématiques transversales communes

a. L'adaptation du paquet technique à chaque contexte

Il est tout d'abord important de rappeler qu'un agriculteur va pouvoir se lancer dans l'adoption d'une nouvelle pratique agricole sous au moins deux conditions :

- s'il y voit un intérêt,
- s'il en a les moyens, qui peuvent être d'ordre financier, logistique, ou encore en termes de connaissances.

Préalablement à la discussion sur l'évaluation des performances de ces pratiques, se posent donc d'abord les enjeux de l'adéquation de chaque paquet technique aux besoins des producteurs et de leur adaptation aux contextes locaux. Ainsi, les objectifs des agriculteurs, des consommateurs et des structures facilitant la mise en œuvre des pratiques innovantes ne sont pas toujours les mêmes. Pour le SCV, les producteurs peuvent être davantage intéressés par les gains immédiats procurés (fourrage pour les animaux, facilité d'obtention des intrants par les projets) que par la réhabilitation de la fertilité des sols, qui peut être l'intérêt premier de bailleurs de fonds par exemple (Njomaha et al. 2010). De même, les consommateurs en Afrique de l'ouest sont généralement d'abord concernés par la disponibilité et l'accès (le prix) des produits alimentaires plutôt que par les questions de durabilité environnementale (Dugué et al. 2012). Pour une même problématique, par exemple la dégradation des sols, d'autres solutions que le SCV peuvent être privilégiées par les agriculteurs, comme la culture en terrasse au Vietnam (Affholder et al. 2009). La réflexion sur la pertinence de l'application d'une pratique agricole nouvelle dans un contexte local spécifique constitue donc un préalable incontournable. Lamantia (2012) note ainsi que sur les processus d'adoption de pratiques comme le SCV, il y a un besoin d'études plus détaillées sur les motivations des exploitants et les connaissances dont ils disposent.

D'autre part, il semble important de concevoir les paquets techniques proposés comme flexibles et modifiables en fonction des situations. L'introduction d'une innovation au sein d'une exploitation demande en effet des adaptations de la pratique au contexte spécifique de l'exploitation. Cet enjeu est notamment important pour le SCV et le SRI car ils comprennent un certain nombre de principes :

- certains partisans de ces techniques considèrent que l'ensemble des principes doivent être mis en œuvre par les agriculteurs pour parler d'une adoption de la technique et pour effectuer l'évaluation de la pratique,
- d'autres considèrent que l'application de tous les principes n'est pas primordiale et pas toujours possible ni préférable selon les contextes.

Or, le fait d'appliquer l'ensemble des principes d'une pratique n'est pas toujours possible pour l'agriculteur. Par exemple pour le SCV en Afrique sub-saharienne, Giller et al. (2009) montrent bien que le maintien sur le champ des résidus de culture est limité pour plusieurs raisons : la compétition avec le fourrage destiné à l'élevage (vaine pâture), la production insuffisante pour une couverture optimale du sol, la « tradition » ... S'agissant du SRI, sa mise

en œuvre peut être très contraignante, notamment au niveau de la gestion de l'eau. Celle-ci demande une préparation du champ importante : nivellement, système d'irrigation et de drainage fonctionnel (butte, canaux d'irrigation, station de tête de pompe), tour d'eau adapté (en cas de SRI dans un périmètre irrigué)...

Ainsi, si ces pratiques sont mises en avant pour leurs performances supposées à la parcelle, il apparaît essentiel de raisonner également à l'échelle de l'exploitation et du territoire. Ainsi, dans le SCV la compétition possible pour l'usage des résidus de culture nécessite de prendre en compte les interactions avec l'élevage (Lamantia 2012). La disponibilité et l'affectation possible à différentes cultures des engrais minéraux et de la fumure organique conditionnent la manière dont les agriculteurs vont mobiliser ces intrants dans leurs systèmes de culture, par exemple sur le SRI (Krupnik et al. 2012). Le montage de projets collectifs d'équipement en irrigation au goutte-à-goutte, permettant de réduire les coûts, met en jeu une dynamique entre différents exploitants d'une même zone irriguée (Woltering 2010).

Le croisement des paquets techniques proposés avec les capacités d'adaptation des producteurs peut permettre de déboucher sur l'adoption des pratiques en tant que telles ou sous une forme modifiée. Par exemple pour le SCV, les agriculteurs peuvent n'adopter que certains principes (rotation des cultures et non labour, en laissant les résidus de culture disponibles pour l'élevage). Sur une expérience de mise en œuvre du SRI au Sénégal (Krupnik et al. 2012), les producteurs appuyés par des chercheurs et des techniciens ont combiné les pratiques du SRI et des pratiques conventionnelles pour trouver un compromis entre désherbage entièrement manuel ou entièrement chimique, l'une et l'autre de ces solutions étant difficiles à appliquer. Cette nouvelle pratique a permis d'atteindre les mêmes rendements qu'en SRI et des marges supérieures à celles obtenues en SRI et avec les pratiques conventionnelles recommandées, tout en répondant mieux aux besoins des producteurs. Un continuum se construit alors entre des paquets techniques innovants, des pratiques conventionnelles recommandées et des pratiques paysannes (Lamantia, 2012).

Des cadres de recherche action permettant la co-construction de solutions entre agriculteurs, chercheurs et techniciens peuvent permettre d'explorer cette voie. Krupnik et al. (2012) ont mis en œuvre, sur le SRI au Sénégal, une démarche fondée sur l'échange entre producteurs, chercheurs et agents de vulgarisation, en mobilisant les systèmes du Champ-Ecole Paysan, qui a encouragé l'analyse de l'expérimentation paysanne, et des méthodes de la recherche participative.

b. L'évaluation des avantages tirés des pratiques

En premier lieu, l'évaluation des avantages et des limites de ces pratiques se heurte à des difficultés assez classiques en termes de suivi agro-économique des exploitations dans les pays en développement. Ainsi, il n'est pas toujours possible d'intégrer tous les facteurs dans l'analyse. Par exemple la main d'œuvre, qui est un paramètre clé pour les 4 techniques considérées ici, est complexe à intégrer dans l'analyse économique pour les petites exploitations familiales du Sud. En effet, les membres de la famille peuvent travailler au champ sans que l'on puisse estimer précisément leur temps de travail et sa valorisation. D'autres coûts ne sont pas forcément intégrés dans certaines études, par exemple le réservoir dans les systèmes de goutte-à-goutte (Oumarou 2008). Par ailleurs, les performances sont souvent étudiées dans des conditions optimales, mais il serait également intéressant de considérer des cas où certaines conditions sont limitantes. Par exemple, le SCV pourrait être étudié dans des cas où le mulch n'est pas assez épais à cause d'une pluviométrie insuffisante (Lamantia 2012).

En outre, le SCV ainsi que le système de goutte-à-goutte sont de plus en plus utilisés dans des régions et sur des cultures très différentes. Le SRI est quant à lui expérimenté dans de nombreux pays d'Asie, d'Afrique et d'Amérique du Sud. Cette démultiplication de contextes, et ainsi d'adaptations différentes des techniques, rend d'autant plus difficile l'estimation du potentiel d'une pratique. Le danger réside alors dans la généralisation hâtive de l'avantage conféré par la pratique, à partir d'une évaluation basée uniquement sur une expérience réalisée dans un contexte précis.

De plus, l'adaptation de la technique par l'agriculteur va davantage modifier les résultats obtenus pour la technique. Cela nourrit le débat entre promoteurs et critiques de la pratique. D'une part, pour répondre aux critiques émises à propos de la technique, les promoteurs ont parfois recours au fait que l'ensemble des principes ne sont pas toujours mis en œuvre dans les expériences, entraînant de moins bons résultats. Le contre argument, comme on l'a vu, est de souligner que l'adoption totale n'est pas toujours possible de la part de l'agriculteur.

D'autre part, les critiques mettent en avant que ces pratiques ne sont que trop peu souvent comparées à des pratiques culturales conventionnelles recommandées. Lorsque c'est le cas, elles ne démontrent pas toujours un avantage significatif. Ce point est au cœur du débat sur les performances du SRI (Krupnik et al. 2012). En effet, les principes du SRI reprennent des recommandations de bonnes pratiques culturales comme le drainage et le nivellement des rizières. Kumar et al. (2005) attirent l'attention sur un risque de biais similaire pour l'évaluation des performances de l'irrigation au goutte-à-goutte : en effet les systèmes d'irrigation par submersion servant de point de comparaison ne sont pas forcément gérés de manière optimale, ce qui peut induire une comparaison plus favorable au goutte-à-goutte, surtout si celui-ci est étudié en station de recherche où les conditions peuvent être optimisées.

Ainsi, il serait souhaitable de pouvoir comparer les pratiques innovantes avec les pratiques culturales conventionnelles recommandées, et comparer la technique traditionnellement utilisée par les agriculteurs à l'adaptation qu'ils font des pratiques innovantes. De la même manière que l'agriculteur n'a pas forcément au préalable adopté les pratiques de cultures conseillées pour différentes raisons (manque de moyen, d'information), il n'est pas évident qu'il adopte intégralement une pratique innovante pour ces mêmes raisons.

c. Le besoin en formation des agriculteurs

En lien avec cette question de l'adaptation des pratiques, un travail de formation et d'accompagnement des agriculteurs apparaît nécessaire. Les pratiques présentées dans ce rapport, ainsi que beaucoup d'innovations, demandent une phase d'apprentissage et d'expérimentation de la part de l'agriculteur. Sans cette période de formation, les avantages à adopter une technique risquent de ne pas être réalisés, comme le montre l'exemple de la culture de tomate au Maroc où certains producteurs continuent à avoir une utilisation proche de celle d'une irrigation gravitaire sur un système de goutte-à-goutte (Slatni et al. 2004). Les économies en eau pouvant être réalisées ne le sont pas par cette mauvaise utilisation du système.

Or, dans de nombreux pays en développement, les dispositifs publics de formation et de vulgarisation agricole ont été fortement réduits, suite notamment aux dispositions d'ajustement structurel dans les années 1980. Dans beaucoup de cas, ils n'ont pas été repris par des acteurs privés ni par des organisations professionnelles agricoles, ces dernières ayant été très peu appuyées pour cela. Il existe donc un besoin important de conception d'approches innovantes pour la formation professionnelle agricole. Les « Farmer Field School » et les démonstrations constituent des outils intéressants pour présenter et discuter les avantages d'une pratique. Au Maghreb, le projet pilote de Réseau des irrigants méditerranéens (RIM) teste des approches innovantes de formations professionnelles sur les économies d'eau en irrigation et le développement des filières, en mobilisant des formateurs d'horizons variés (agriculteurs eux-mêmes, secteur public, entreprises privées) et en soutenant les organisations professionnelles agricoles (coopératives et associations d'irrigants) pour concevoir et organiser les formations de manière autonome (Imache et al. 2011).

d. La nécessité d'un accompagnement technique et financier

Au delà de la formation, un accompagnement est primordial pour encourager l'adoption, soutenir les petits agriculteurs dans leur démarche d'innovation et éviter un échec de l'adoption. Ce soutien peut se faire de plusieurs manières.

D'une part, un soutien technique doit être mis en place, avec l'implication de techniciens capables de conseiller les agriculteurs afin d'améliorer la mise en œuvre de la pratique. Des groupes d'échanges et de réflexion peuvent être constitués afin de favoriser l'échange entre les producteurs sur la technique, le partage d'expérience entre agriculteurs étant un levier important d'innovation.

D'autre part, l'adoption d'une nouvelle pratique passe par un investissement initial important. Cet investissement peut représenter une barrière à l'innovation pour de nombreux petits agriculteurs dans les pays du Sud. La plupart de ces agriculteurs ne bénéficient pas d'une trésorerie suffisante pour investir. L'adoption de l'innovation dépend à la fois de l'innovation elle-même, de l'environnement, et des stratégies des producteurs. L'agriculteur prend des décisions en vue de garantir la survie de l'exploitation, d'avoir un revenu le plus élevé possible et en fonction des besoins de sa famille (Petit 1975). La perception que se fait l'agriculteur de la situation de son exploitation, ainsi que de l'innovation est donc primordiale dans son adoption, et détermine si l'agriculteur souhaite prendre le risque d'adopter une pratique différente. Or, la plupart des petits producteurs du Sud mettent en œuvre des stratégies de minimisation du risque afin d'assurer en premier lieu la sécurité alimentaire de leur famille. Les changements de pratique induits par les 4 innovations discutées ici représentent des investissements et donc des risques qui semblent difficiles à assumer sans appui financier et sans réflexion sur la valorisation des cultures.

Des actions peuvent être mises en place dans ce sens :

- des subventions à l'achat d'équipement : le goutte-à-goutte est en partie financé dans les pays du Maghreb par l'État. L'obtention de la subvention est cependant une procédure assez lourde et reste peu accessible aux petits agriculteurs n'ayant pas accès au réseau administratif (Force 2011),
- la fourniture du matériel nécessaire au changement de pratique par certains organismes permet de lever la barrière de l'investissement initial (par exemple prêt ou don de la sarclo-bineuse dans le cas du SRI),
- l'accès au crédit (Sonou et Abric 2010) pour réaliser l'investissement initial et assurer les charges de fonctionnement (approvisionnement en intrants). L'obtention du crédit peut être difficile pour un petit agriculteur qui n'est pas en mesure d'offrir de garantie. Pour cela certains projets mettent en place des prêts ou se portent garant pour les agriculteurs.

Le goutte-à-goutte est une illustration intéressante des différences d'approche sur la nécessité d'une aide financière pour la diffusion des pratiques. Certains États décident de subventionner l'installation de ce système d'irrigation. IDE a une approche différente, basée sur le développement d'un marché pour des systèmes à bas coût, sans l'introduction de subventions conséquentes, mais avec un travail d'élaboration de produits de micro crédits.

Le changement de pratique agricole nécessite, au delà d'un investissement initial, des charges récurrentes, comme pour le goutte-à-goutte où le matériel doit être entretenu et renouvelé. Le risque est que ces coûts ne soient pas pris en compte dans le calcul de rentabilité, voire même non envisagés par les agriculteurs.

e. La question du foncier

L'insécurité foncière peut freiner l'adoption d'une pratique pourtant potentiellement avantageuse :

- Un petit producteur sera réticent à investir dans une innovation comme en zaï ou en SCV alors même que son investissement ne sera pas rentabilisé si le propriétaire vient à décider de récupérer sa terre avant que les bénéfices du changement de pratique se fassent sentir.
- Dans certaines régions, le fait de réaliser des aménagements de la terre n'est pas du ressort du locataire. A Madagascar, il n'était pas possible pour un locataire de réaliser des talus, des fossés dans la rizière car cela fait acte de propriété. Au Burkina Faso, la plantation d'arbre ou la construction d'aménagements sur le champ est un signe d'appropriation (Dugué et al. 1993). Les locataires ne peuvent donc pas le faire, ce qui limite la régénération forestière associée au zaï.
- Certaines terres appartiennent à une famille, ce qui implique une décision commune parfois difficile à prendre.
- Un titre de propriété est parfois demandé pour obtenir des aides comme pour la subvention du goutte-à-goutte au Maroc (Force 2011). Or de nombreux agriculteurs ne disposent pas de titre officiel. Il est possible pour l'agriculteur d'être subventionné sans ce titre de propriété mais peu d'informations sont données et souvent les agriculteurs ne connaissent pas cette possibilité.

De manière générale, le problème de propriété de la terre masque également le fait que les agriculteurs locataires ne sont pas les agriculteurs les plus aisés. De plus, les terres en location sont souvent les terres les plus marginales (comme le zaï), parfois laissées à l'abandon suite à une surexploitation. Ces terres sont donc celles qui bénéficieraient le plus de mesures de conservation par exemple. Malheureusement, ces mesures sont coûteuses, et les locataires n'ont pas toujours les moyens et sont parfois peu enclins à réaliser ces investissements face au risque de ne pas pouvoir en recueillir les bénéfices dans l'avenir.

f. L'accès aux marchés : équipements, intrants, commercialisation

La réussite de l'introduction d'une pratique agricole dépend de l'accessibilité au marché des équipements et intrants (amont), mais également des possibilités de valorisation du produit (aval). Le goutte-à-goutte entraîne un changement de culture vers des produits à plus haute valeur ajoutée comme le maraîchage. Tout comme le SCV utilisant des plantes de couverture et réalisant une rotation de culture, le goutte-à-goutte nécessite donc des possibilités d'approvisionnement fiable en semences. Or, de nombreux pays ne bénéficient pas d'une production ou d'un réseau de revente de semences organisé, avec l'existence de zones enclavées. Des problèmes similaires se posent pour l'accessibilité au marché des herbicides, beaucoup utilisés en SCV, et des engrais minéraux. L'introduction du SCV est ainsi simplifiée par la présence d'un marché préexistant d'herbicide comme dans le Nord Cameroun sur des cultures de coton²⁶.

Le matériel (semoirs pour semis direct ou les motopompes permettant l'exhaure de l'eau d'irrigation pour le goutte-à-goutte) n'est pas commercialisé partout. Suite à leur commercialisation, un service d'entretien, avec des techniciens formés pour la réparation du matériel utilisé est nécessaire pour maintenir la pratique. Ceci va de pair avec la présence de conseillers agricoles et illustre l'importance du suivi de l'adoption d'une pratique.

La valorisation du produit final lors de sa commercialisation est également un point clé. Ceci est particulièrement vrai pour les produits de maraîchage issus de la conversion réalisée suite à la mise en place du goutte-à-goutte. Excepté quelques produits comme l'oignon qui possèdent un temps de stockage élevé, la majorité des produits de maraîchage sont des produits frais. La valorisation de ces produits est facilitée par un temps de transport réduit et une transformation et conditionnement du produit qui permettent sa conservation (Sonou et Abric 2010). Les abords des grandes villes permettent un accès à un marché demandeur de produits de maraîchage, un temps de transport limité pour préserver la qualité du produit, un coût de transport faible étant donné la distance réduite. C'est pourquoi les milieux périurbains sont des zones ciblées par l'ONG IDE pour sa commercialisation de kits d'irrigation en goutte-à-goutte.

Dans ce contexte, les organisations professionnelles agricoles et les filières peuvent jouer un rôle déterminant pour faciliter la diffusion des pratiques, même si pour l'instant les exemples sont peu nombreux, notamment en Afrique de l'ouest. Ainsi, au Cameroun, la Société de Développement du Coton (Sodecoton – en charge de la gestion de la filière coton) a fait la promotion du SCV dans le cadre de la conduite de rotation céréale/coton. Mais cette

²⁶ Entretien avec Krishna Naudin, 21 juin 2012

promotion s'est faite avec des moyens limités ou dans le cadre de projets temporaires et plus ou moins bien intégrés dans ces structures permanentes. Quelques rares organisations professionnelles agricoles ont engagé une réflexion et des actions sur la gestion intégrée de la fertilité du sol mais elles ne dépassent guère la sensibilisation et la formation aux pratiques (Dugué et al. 2012). Au Burkina Faso, l'Union des Groupements pour la Commercialisation des Produits Agricoles de la Boucle du Mouhoun (UGCPA BM) a lancé une réflexion sur l'appui à la diffusion de l'utilisation de fumure organique auprès de ses membres en parallèle de son service d'approvisionnement en engrais minéraux. Au contraire, l'absence d'organisation professionnelle agricole structurée peut constituer un frein à l'adoption de nouvelles pratiques, comme dans la zone du lac Alaotra à Madagascar, où les paysans restent dépendants de projets de développement à durée limitée et où très peu de SCV se développe hors projet (Lamantia 2012).

3.2 Pistes de travail

a. Renforcer les connaissances en termes d'impact sur l'eau de ces différentes pratiques

Tout d'abord, la connaissance en termes d'impacts sur l'eau de ces différentes pratiques agricoles reste assez limitée et pourrait être renforcée. La majorité des études se concentrent en effet sur la productivité de la terre des pratiques.

Le goutte-à-goutte, conçu pour réaliser une économie d'eau, est la pratique pour laquelle on dispose du plus grand nombre d'études sur l'utilisation de l'eau. Cependant les économies théoriques calculées en situation de recherche sont rarement identiques à celles réalisées chez l'agriculteur. De plus, les diverses cultures et nombreux contextes où le goutte-à-goutte est utilisé ne sont pas tous étudiés. Les résultats d'économie en eau doivent donc faire état de plusieurs paramètres importants : la région étudiée, le climat, le type de sol, le type de culture, son itinéraire technique et le témoin de la comparaison. La comparaison est plus ou moins avantageuse si le système de goutte-à-goutte est comparé à une irrigation gravitaire, ou un système d'aspersion, eux-mêmes gérés ou non de manière optimale.

Le SCV, très rarement utilisé en système irrigué, et le zai ne sont pas des pratiques permettant d'économiser de l'eau en tant que tel. Elles permettent cependant une meilleure mobilisation de l'eau par une augmentation de l'infiltration de l'eau pluviale dans le sol. Dans ce cas, l'utilisation de la productivité de l'eau comme indicateur est plus difficile qu'en système irrigué (Troy 2012a). L'analyse nécessite alors certainement de revenir aux processus hydrologiques : en SCV, le ruissellement est principalement étudié car il induit une érosion hydrique engendrant une perte de fertilité des sols. D'autres processus pourraient être plus étudiés dans le contexte des pays en développement, notamment l'augmentation supposée du niveau des nappes phréatiques lors de la pratique du SCV, et le devenir des herbicides en SCV (dégradation avec le couvert végétal, impact sur la faune du sol, transfert dans les masses d'eau), pour lesquels les études restent rares et difficiles à réaliser. De même, l'impact supposé du SRI sur la réduction de la surexploitation des nappes phréatiques pourrait faire l'objet d'études spécifiques, ce phénomène ayant en partie contribué au fait que le SRI se soit beaucoup développé et ait été très étudié dans les États du Tamil Nadu et d'Andhra Pradesh en Inde, avec la forte implication des universités agronomiques.

Il s'agit de noter que l'entrée par les économies en eau n'est pas toujours la plus pertinente car ce n'est pas une priorité dans toutes les régions du monde. L'excès d'eau est également à considérer : ainsi le riz, qui est une culture très gourmande en eau, est parfois cultivé dans des régions d'Asie ayant un excès d'eau, et le SCV pose parfois un problème d'engorgement des sols. L'influence des pratiques sur la qualité de l'eau est également un élément important qui a été, concernant l'eau, le moins étudié.

b. Identifier les zones à fort potentiel de diffusion à partir des facteurs locaux d'opportunités et de blocage

Les différentes pratiques présentées dans ce rapport connaissent une vitesse et étendue de diffusion différentes selon la région d'introduction considérée. Par exemple le SRI a mis beaucoup de temps à se développer significativement à Madagascar, alors même que la diffusion a été plus rapide dans certains pays d'Asie comme l'Inde. Cela tient à de multiples barrières plus ou moins aisées à lever : la gestion de l'eau dans un système de riziculture pluvial est plus difficile à mettre en place que dans un périmètre irrigué, la couverture végétale en SCV est plus abondante dans un climat tempéré qu'un climat sub-saharien... La question de l'utilité d'introduire une technique alors même que de nombreux obstacles s'y opposent doit alors être posée. Faut-il absolument chercher à lever les facteurs de blocage à l'adoption d'une technique quand ils sont importants ou trouver d'autres voies ?

Si l'on prend par exemple le SCV, le contexte d'origine de cette pratique et le contexte où l'on tente de l'introduire contrastent fortement. A l'origine, le SCV a été développé pour lutter contre l'érosion dans des zones agricoles mécanisées et intensives, de grandes cultures, avec un lien important avec le marché, un accès au crédit facile, et l'absence d'intégration de l'élevage dans ce système. Une adaptation sera donc nécessaire pour la diffusion du SCV en Afrique de l'Ouest, dans un contexte en tous points opposé. Cette adaptation peut passer par l'adoption partielle du SCV, c'est-à-dire ne pas adopter l'ensemble du paquet technique. Pourtant, le SCV a pu se développer dans des pays de l'Afrique de l'Est, comme le Zimbabwe ou le Kenya dont le contexte est plus proche de celui de l'Afrique de l'Ouest. Il s'agit donc d'identifier les blocages supplémentaires qui existent dans ces pays pour mieux comprendre l'intérêt potentiel d'une éventuelle diffusion.

L'Agriculture de Conservation est aujourd'hui mise en avant comme nouveau paradigme s'opposant à celui du labour. Une critique importante que les défenseurs de l'Agriculture de Conservation portent contre les diffuseurs de la technique de labour est qu'ils ne se sont pas souciés des différentes situations où cette technique pouvait être néfaste. Hors, jusqu'à présent, le recul sur certaines pratiques n'est pas assez important pour savoir si le SRI, le goutte-à-goutte ou le SCV pourraient être appliqués sans considération de la région, du climat... sans avoir d'effets néfastes (Serpantié 2009). Cela contraste avec certaines pratiques agricoles comme le zaï dont l'aire géographique de mise en œuvre est limitée.

Sans pour autant limiter les zones géographiques bénéficiaires d'une nouvelle pratique, il serait intéressant comme tente de le faire aujourd'hui l'ONG ACT (programme ABACO)²⁷ de cibler des zones et types de terres où l'adoption d'une certaine pratique serait plus importante, en étudiant les facteurs locaux entrant en compte dans l'adoption et la réussite d'une technique. Des facteurs tels que la présence dans une zone d'une ou plusieurs autres solutions contre l'érosion ne nécessitera pas toujours l'introduction du SCV par exemple (Serpantié 2009).

c. Promouvoir les échanges et la co-construction de pratiques innovantes entre les agriculteurs et les autres acteurs du développement agricole

Les approches de recherche agronomique et d'expérimentation paysanne sont complémentaires et pourraient être plus rapprochées :

- En contexte de recherche, les paramètres étant plus facilement connus ou contrôlés, il est possible de comprendre l'influence d'un paramètre sur la culture. Pour des pratiques telles que le SRI ou le SCV, elle peut expliquer et décomposer les effets de chaque principe pour connaître la conséquence d'une adoption partielle.
- Chez l'agriculteur, il est rare de pouvoir connaître ou contrôler tous les facteurs. L'agriculteur va procéder à une intégration et à des modifications de la technique ou encore l'adoption partielle de la pratique. Cela va ensuite servir à confronter la technique à la réalité de sa mise en œuvre, et mettre en lumière les points nécessitant une adaptation (pic de travail concordant avec celui d'une autre tâche...).

Des approches de recherche action associant les apports des chercheurs, des agriculteurs et des techniciens peuvent ainsi contribuer à adapter les pratiques innovantes aux réalités des exploitations familiales du Sud. Plusieurs outils peuvent être mobilisés dans cette démarche : méthodes innovantes d'ingénierie de formation (projet de Réseau des irrigants méditerranéens – Imache et al. 2011), champs écoles associés à des méthodes de la recherche participative (Krupnik et al. 2012)... Pour cela, des espaces de concertation et d'expérimentation doivent pouvoir être créés. Ils le sont souvent dans le cadre de projets à durée limitée. La diffusion des innovations à plus grande échelle nécessite alors des relais, parmi lesquels les organisations professionnelles agricoles et les filières ont un rôle à jouer, appuyées par des politiques publiques volontaristes.

²⁷ Entretien avec Patrick Djamen, 27 juillet 2012

Conclusion

Pour les quatre techniques étudiées ici, l'impact sur l'eau est souvent moins étudié que d'autres paramètres comme le rendement. Ceci est en partie lié au fait que l'impact sur la gestion de l'eau n'est pas toujours le facteur déterminant dans l'adoption de la technique, et que cet impact est de nature différente selon les techniques : le SRI et l'irrigation au goutte-à-goutte peuvent permettre des économies d'eau d'irrigation, tandis que l'intérêt du SCV et du zaï se situe plutôt en termes d'augmentation de la disponibilité en eau pour la plante en système pluvial.

Les expériences revues dans cette étude tendent à montrer que chacune des 4 pratiques agricoles a un potentiel d'impact positif important sur la gestion de l'eau. Cependant, il est très dépendant du contexte rencontré. Les études expérimentales en conditions contrôlées permettent de connaître le potentiel dans chaque contexte pédoclimatique, mais ne permettent pas de connaître celui réalisé chez l'agriculteur. Le passage de la pratique de la station expérimentale au champ nécessite des adaptations dont l'impact sur l'eau est peu connu. D'autre part, la mise en œuvre de ces pratiques au champ peut induire des contraintes importantes, comme une augmentation du temps de travail ou une plus grande maîtrise de l'eau en systèmes irrigués. Il serait donc intéressant de disposer de plus d'études et de projets pilotes sur ces questions.

De plus, même si ces pratiques semblent intéressantes dans un contexte particulier, elles n'échappent pas aux barrières de la diffusion d'une innovation. Au delà de l'avantage théorique conféré par celle-ci, l'adoption d'une pratique passe par plusieurs étapes.

Tout d'abord l'information et la formation sont centrales pour permettre une analyse en amont sur l'intérêt et la viabilité de l'adoption de la pratique. Une formation insuffisante peut conduire à diminuer significativement les bénéfices espérés en termes de gestion de l'eau. Dans ce cadre une réflexion doit être menée sur l'adaptation des paquets techniques à chaque contexte. La recherche-action a certainement un rôle clé à jouer sur ces enjeux, alors que dans de nombreux pays en développement, l'État s'est désengagé des systèmes de vulgarisation agricole. Des formes innovantes de conseil restent à construire avec une grande diversité d'acteurs (organisations professionnelles agricoles, recherche, secteur privé, ONG). Le développement des « Farmer Field School » ou d'initiatives de formation professionnelle portées par les organisations professionnelles agricoles, comme le projet de Réseau des irrigants méditerranéens, peuvent servir de support à une co-construction des innovations entre les agriculteurs et les autres acteurs du développement agricole sur la gestion de l'eau.

Par ailleurs, il semble nécessaire de concevoir des soutiens financiers, techniques et en matériel pour accompagner la diffusion de ces techniques là où elles sont pertinentes, en particulier pour les exploitations petites et moyennes dans les pays en développement. La présente étude montre qu'en effet les résultats agro-économiques (augmentation de la production et des marges réalisées par l'agriculteur) peuvent faire l'objet d'une grande variabilité et n'être positifs qu'après plusieurs années. Il s'agit donc d'accompagner ces petits producteurs dans la prise de risque liée à l'innovation. Le renforcement de l'accès aux marchés (équipements, intrants, commercialisation) est central dans cette optique, et l'implication des organisations professionnelles agricoles apparaît alors comme indispensable.

Enfin, les pratiques agricoles ne sont pas les seules options permettant une meilleure gestion de l'eau. La réflexion croisée avec d'autres types d'innovations est nécessaire pour construire des stratégies intégrées sur la gestion de l'eau et le développement agricole.

Bibliographie

Adusumilli R., Bhagya Laxmi S. (2010), Potential of the system of rice intensification for systemic improvement in rice production and water use: the case of Andhra Pradesh, India, *Paddy Water Environment* 9:89–97, DOI 10.1007/s10333-010-0230-6.

AFD (2006), *Le semis direct sur couverture végétale permanente (SCV)*, Paris, France.

Affholder F., Jourdain D., Dinh Quang D., Phuc Tuong T., Morize M., Ricome A. (2009), Constraints to farmers' adoption of direct-seeding mulch-based cropping systems : A farm scale modeling approach applied to the mountainous slopes of Vietnam, *Agricultural Systems*, 103, pp. 51-62.

Africare, Oxfam America, WWF-ICRISAT Project (2010), *More Rice for People, More Water for the Planet*, WWF-ICRISAT Project, Hyderabad, India.

Alexandratos N., Bruinsma J. (2012), *World Agriculture Towards 2030/2050, the 2012 Revision*, ESA Working Paper No. 12-03, June 2012, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

AQUASTAT (2010), <http://www.fao.org/nr/aquastat> consulté en Novembre 2010.

Angers D.A., Eriksen-Hamel N.S. (2008), Full-inversion tillage and organic carbon distribution in soil profiles: meta-analysis, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 72:1370–1374.

Annabi M., Bahri H., Chibani R., Angar H., Bahri B., Ben Hadj Salah H. (2011), Soil carbon storage under no-tillage practice in northern Tunisia, 5th World Congress of Conservation Agriculture incorporating, 3rd Farming Systems Design Conference, 26-29 September 2011, Brisbane (Australia).

Bagayoko M. (2012), Effects of plant density, organic matter and nitrogen rates on rice yields in the system of rice intensification (SRI) in the “Office du Niger” in Mali, Asian Research Publishing Network, *Journal of Agricultural and Biological Science*, Vol. 7, N° 8, August 2012, ISSN 1990-6145.

Barro A., Zougmore R, Sibiri Taonda J-B. (2005), Mécanisation de la technique du zai manuel en zone semi-aride, *Cahiers Agricultures* vol. 14, n° 6, novembre-décembre 2005.

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*, vol. 20, n°1-2, janvier-avril 2011.

Bunna S., Sinath P., Makara O., Mitchell J., Fukai S. (2011), Effects of straw mulch on mungbean yield in rice fields with strongly compacted soils, *Field Crops Research* 124 (2011) 295–301.

Burney J., Woltering L., Burke M., Naylor R., Pasternak D. (2010), Solar-powered drip irrigation enhances food security in the Sudano-Sahel, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*.

Clavel D., Barro A., Belay T., Lahmar R., Maraux F. (2008), Changements techniques et dynamique d'innovation agricole en Afrique Sahélienne: le cas du Zaï mécanisé au Burkina Faso et de l'introduction d'une cactée en Ethiopie, Volume 8 Numéro 3, décembre 2008.

Debele T. (2011), The effects of minimum and conventional tillage systems on maize grain yield and soil fertility in western Ethiopia, 5th World Congress of Conservation Agriculture incorporating 3rd Farming Systems Design Conference, 26-29 September 2011, Brisbane (Australia).

Derpsch R., Friedrich T. (2009), Development and Current Status of No-till Adoption in the World, Proceedings on CD, 18th Triennial Conference of the International Soil Tillage Research Organization (ISTRO), June 15-19, 2009, Izmir, Turkey.

Dobermann A. (2003), A critical assessment of the system of rice intensification (SRI), *Agricultural Systems* 79 (2004) 261–281.

Droux D. (2008), Réhabilitation des sols dégradés des zones sèches sahéliennes avec la technique du zaï, état des connaissances, perception et pratiques paysannes dans le nord du Burkina Faso, Mémoire de stage, Master II « Bioressources en régions tropicales et méditerranéennes », Université Paris XII Val-de-Marne.

Dugué P., Roose É., Rodriguez L. (1993), L'aménagement de terroirs villageois et l'amélioration de la production agricole au Yatenga (Burkina Faso), Une expérience de recherche-développement, *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXVIII, no 2, 1993 : pp 385-402.

Dugué P., Autray P., Blanchard M., Djamen P., Landry A., Girard P., Olina J.P., Ouedraogo S., Sissoko F., Vall E. (2012), L'agroécologie pour l'agriculture familiale dans les pays du Sud : impasse ou voie d'avenir ? Le cas des zones de savane cotonnière de l'Afrique de l'Ouest et du Centre, Colloque « René Dumont revisité et les politiques agricoles africaines », Paris, 15 et 16 novembre 2012, Fondation René Dumont.

Eau Vive (2011), Rapport final d'activités – Programme Sahel vert 3 Burkina Faso.

El Brahli A., El Gharras O., El Hantaoui N. (2009), Le système semis direct : Nouveau mode de production et modèle d'agrégation pour une agriculture pluviale durable au Maroc, *Transfert et Technologies en Agriculture* n° 182/Novembre 2009.

Erenstein O. (2003), Smallholder conservation farming in the tropics and sub-tropics: a guide to the development and dissemination of mulching with crop residues and cover crops, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 100 (2003) 17–37.

FAO et PAM (2010), L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde : combattre l'insécurité alimentaire lors des crises prolongées, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome, 2010.

Fatondji D. (2002), Organic amendment decomposition, nutrient release and nutrient uptake by millet (*Pennisetum glaucum* L. R.Br.) in a traditional land rehabilitation technique (Zaï) in the Sahel, *Ecology and Development Series No.1*, 140 p. Germany: University of Bonn.

Force L. (2011), Enjeux et risques de la reconversion en irrigation localisée au Moyen Sebou (MAROC), Mémoire de fin d'études, Ingénieur diplômé de l'ENGEES spécialisation GSE, IRC.

Gaufichon L., Prioul J.L., Bachelier B. (2010), Quelles sont les perspectives d'amélioration génétique de plantes cultivées tolérantes à la sécheresse ? Fondation FARM.

Geethalakshmi V., Ramesh T., Palamuthirsolai A., Lakshmanan A. (2011), Agronomic evaluation of rice cultivation systems for water and grain productivity, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 57(2) : 159 -166.

Giller K.E., Witter E., Corbeels M., Tittonell P. (2009), Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: The heretics' view, *Field Crops Res.*, doi:10.1016/j.fcr.2009.06.017.

Giller K. E., Corbeels M., Nyamangara J., Triomphe B., Affholder F., Scopel E., Tittonell P. (2011), A research agenda to explore the role of conservation agriculture in African smallholder farming systems, *Field Crops Research* 124 (2011) 468–472.

Goulet F. (2008), Des tensions épistémiques et professionnelles en agriculture, dynamiques autour des techniques sans labour et de leur évaluation environnementale, *Revue d'anthropologie des connaissances*, 2008/2 - n° 4, pp 291-310.

Goulet F., Hernández V. (2011), Vers un modèle de développement et d'identités professionnelles agricoles globalisés ? Dynamiques d'innovation autour du semis direct en Argentine et en France, *Revue Tiers Monde* 2011/3 - n°207, pp 115-132, ISSN 1293-8882.

Guto S.N., Pypers P., Vanlauwe B., de Ridder N., Giller K.E. (2011), Socio-ecological Niches for Minimum Tillage and Crop-residue Retention in Continuous Maize Cropping Systems in Smallholder Farms of Central Kenya, *Agronomy Journal*, Volume 103, Issue 3, 2011.

Hamdane A. (2012), L'eau et la sécurité alimentaire, cas de la Tunisie, Conférence Partage du Savoir en Méditerranée (7), La Marsa (Tunisie), 17-20 mai 2012.

Ibragimov N., Evett S. R., Esanbekov Y., Kamilov B. S., Mirzaev L., Lamers J. P.A. (2007), Water use efficiency of irrigated cotton in Uzbekistan under drip and furrow irrigation, *Agricultural Water Management*, 90 (2007), pp 112–120.

Imache A., Lambert C., Lanau S., Troy B. (2011), RIM – Réseau des Irrigants Méditerranéens, Appui aux petites et moyennes exploitations agricoles au Maghreb : bilan d'une expérience de formation professionnelle, *Champs d'acteurs* 01, Décembre 2011, Fondation FARM.

IWMI (2013), Making a difference drop by drop, Success stories, Issue 18 – 2013, International Water Management Institute.

Jenn-Treyer O., Dabat M.-H., Grandjean P. (2007), Une deuxième chance pour le système de riziculture intensive à Madagascar ? La recherche d'un compromis entre gain de productivité et investissement en facteur de production, Colloque scientifique, « Dynamiques rurales à Madagascar : perspectives sociales, économiques et démographiques », Antananarivo, 23-24 avril 2007.

Kaboré D., Reij C. (2004), The Emergence and Spreading of an Improved Traditional Soil and Water Conservation Practice in Burkina Faso - IFPRI, Environment and Production Technology Division, EPTD Discussion Paper n°14.

Karlberg L., Rockström J., Annandale J.G., Martin S. J. (2007), Low-cost drip irrigation—A suitable technology for southern Africa? An example with tomatoes using saline irrigation water, *Agric. Water Manage.* 89:59-70.

Khaledian M.R., Mailhol J.C., Ruelle P., Mubarak I., Maraux F. (2010), Nitrogen balance and irrigation water productivity for corn, sorghum and durum wheat under direct seeding mulch chen compared with conventional tillage in the southeastern France, *Irrig Sci* (2010) 29 :413-422 doi 10.1007/s00271-010-0250-4.

Krupnik T.J., Shenna C., Settle W.H., Demont M., Ndiaye A.B., Rodenburg J. (2012), Améliorer la production du riz irrigué dans la Vallée du Fleuve Sénégal à travers l'innovation et l'apprentissage par l'expérience, FAO 2012.

Kulkarni S.A., Reinders F.B., Ligetvari F. (2006), Global scenario of sprinkler and micro irrigated areas, 7th International Micro Irrigation Congress, Sept 10-16 2006, PWTC, Kuala Lumpur.

Kumar M.D., Samad M., Amarasinghe U., Singh O. P. (2005), Water saving and yield enhancing technologies: How far can they contribute to water productivity enhancement in

Indian Agriculture? <http://nrlp.iwmi.org/>.

Lamantia A. (2012), Analyse comparative des processus d'adoption et des impacts du Semis direct sur Couverture Végétale permanente (SCV) sur les exploitations agricoles familiales dans 3 régions tropicales : Madagascar, Cameroun et Laos, Mémoire de fin d'études, AgroCampus Ouest et Cirad.

Le Goulven P., Lacombe G., Burte J., Gioda A., Calvez R. (2009), Techniques de mobilisation des ressources en eau et pratiques d'utilisation en zones arides : bilans, évolutions et perspectives, *Sécheresse* 2009 ; 20 (1) : 17-30.

MAAPRAT (2012), Une eau bien gérée pour nourrir le monde, Policy brief du Panel de haut niveau sur l'eau et la sécurité alimentaire, 6^{ème} Forum mondial de l'eau, Marseille 2012, Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire.

Maisiri N., Senzanje A., Rockstrom J., Twomlow S.J. (2005), On farm evaluation of the effect of low cost drip irrigation on water and crop productivity compared to conventional surface irrigation system, *Physics and Chemistry of the Earth* 30 (2005) 783–791.

Marchal J.Y. (1986), Vingt ans de lutte antiérosive au nord Burkina Faso, *Cahier ORSTOM, sér. Pédol.*, 22, 2 :173-180.

Mazvimavi K., Nyathi P., Murendo C. (2011), Conservation Agriculture practices and challenges in Zimbabwe, 5th World Congress of Conservation Agriculture incorporating 3rd Farming Systems Design Conference, 26-29 September 2011, Brisbane (Australia).

McDonald A.J., Hobbs P.R., Riha S.J. (2005), Does the system of rice intensification outperform conventional best management? A synopsis of the empirical record, *Field Crops Research* 96 (2006) 31–36.

Naudin K., Gozé E., Balarabe O., Giller K.E., Scopel E. (2010), Impact of no tillage and mulching practices on cotton production in North Cameroon: A multi-locational on-farm assessment, *Soil & Tillage Research* 108 (2010) 68–76.

Naudin K., Scopel E., Andriamandroso A.L.H., Rakotosolofio M., Andriamarosoa Ratsimbazafy N. R. S., Rakotozandriny J. N., Salgado P., Giller K. E. (2011), Trade-offs between biomass use and soil cover - The case of rice based cropping systems in the Lake Alaotra region of Madagascar, *Expl Agric.* (2012), volume 48 (2), pp. 194–209 Cambridge University Press 2011, doi:10.1017/S001447971100113X.

Ndiiri J.A., Mati B.M., Home P.G., Odongo B., Uphoff N. (2012), Comparison of water savings of paddy rice under System of Rice Intensification (SRI) growing rice in Mwea, Kenya, *International Journal of Current Research and Review (IJCRR)*, Vol. 04, issue 06, March 2012.

Ngwira A., Aune J. (2011), Adaptation of Conservation Agriculture by smallholder farmers in Malawi: drivers, intensity, benefits and problems for up scaling, 5th World Congress of Conservation Agriculture incorporating 3rd Farming Systems Design Conference, 26-29 September 2011, Brisbane (Australia).

Njomaha C., Olina J.P., Abou A., Balarabe O. (2010), Diffusion des systèmes de cultures sur couverture végétale au Nord-Cameroun : contraintes d'adoption et perspectives, CEDRES - Actes du colloque "Quelle Agriculture pour un développement durable de l'Afrique", Ouagadougou-BURKINA FASO, du 6 au 8 Décembre 2010, pp. 180-188.

Ouedraogo S., Belemvire A., Maiga A., Sawadogo H., Savadogo M. (2008), Evaluation des impacts biophysiques et socioéconomiques des investissements dans les actions de gestion des ressources naturelles au Nord du Plateau Central du Burkina Faso, Rapport de synthèse, Etude Sahel Burkina Faso.

Oumarou S. (2008), Étude comparative de l'irrigation goutte-à-goutte à basse pression JPA et de l'arrosage manuel sur la production de la laitue en zone sahélo soudanienne du Niger, Mémoire de fin de cycle, Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée IPR/IFRA de Katibougou, Mali.

Parihar C.M., Jat S.L., Singh A.K., Jat M.L. (2011), Energy scenario and water productivity of maize based cropping system under Conservation Agriculture practices in South Asia, 5th World Congress of Conservation Agriculture incorporating 3rd Farming Systems Design Conference, 26-29 September 2011, Brisbane (Australia).

Petit M. (1975), L'adoption des innovations par les agriculteurs : plaidoyer pour un renouvellement de la théorie économique de la décision, *POUR*, n. 40, p 79-91.

Piggin C., Haddad A., Khalil Y. (2011), Development and promotion of zero tillage in Iraq and Syria, 5th World Congress of Conservation Agriculture incorporating 3rd Farming Systems Design Conference, 26-29 September 2011, Brisbane (Australia).

Reij C., Tappan G., Smale M., (2009), Agroenvironmental Transformation in the Sahel: Another Kind of “Green Revolution”, IFPRI Discussion Paper 00914.

Reinders F.B. (2006), Micro-irrigation : world overview on technology and utilization, Keynote address at the opening of the 7th International Micro-Irrigation Congress in Kuala Lumpur, Malaysia.

Roose E., Dugué P., Rodrigue L. (1992), La GCES (Gestion Conservatoire de l'Eau, de la biomasse et de la fertilité des Sols) : Une nouvelle stratégie de lutte antiérosive appliquée à l'aménagement de terroirs en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso, *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, no 233, 3e trimestre, 1992.

Roose E., Kabore V., Guenat C. (1995), Le zaï, une technique traditionnelle africaine de réhabilitation des terres dégradées de la région soudano-sahélienne (Burkina Faso), *L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait ?* John Libbey Eurotext, Paris ©, pp. 249-265.

Scopel E., A.M. Da Silva F., Corbeels M., Affholder F., Maraux F. (2004), Modelling crop residue mulching effects on water use and production of maize under semi-arid and humid tropical conditions, *Agronomie* 24 (2004) 383–395 © INRA, EDP Sciences, 2004 DOI: 10.1051/agro:2004029.

Serpantié G. (2009), L' « Agriculture de Conservation » à la croisée des chemins (Afrique, Madagascar), *VertigO – La revue en sciences de l'environnement*, Volume 9, numéro 3, décembre 2009.

Slatni A., Mailhol J.C., Zairi A., Château G., Ajmi T. (2004), Analyse et diagnostic de la pratique de l'irrigation localisée dans les périmètres publics irrigués de la basse vallée de la Medjerda en Tunisie, *Projet INCO-WADEMED, Actes du Séminaire, Modernisation de l'Agriculture Irriguée*, Rabat, du 19 au 23 avril 2004.

Sonou M., Abric S. (2010), Capitalisation d'expériences sur le développement de la petite irrigation privée pour des productions à haute valeur ajoutée en Afrique de l'Ouest, *Rapport de Synthèse Banque Mondiale, ARID, FAO, IWMI, UE et ACP*.

Soutou G., Naudin K., Scopel E. (2005), Crop water balance in conventional and direct seeding mulch-based cotton cropping systems in North Cameroon, *3rd World Congress on Conservation Agriculture*.

Styger E. (2009), Système de Riziculture Intensive (SRI) -Évaluation communautaire dans les Cercles de Goundam et de Dire, Tombouctou, Mali, 2008/2009, *Africare, Bamako, Mali*.

Troy B. (2012a), Augmenter la productivité de l'eau : un objectif de développement agricole ? *Notes n°2, mars 2012, FARM*.

Troy B. (2012b), Gestion de l'eau agricole et sécurité alimentaire : de nouveaux défis pour les pays en développement, In « Eau et sécurité alimentaire : dynamiques régionales pour un défi planétaire », *DEMETER – Économie et stratégies agricoles*, édition 2013.

Uphoff N. (2007), Increasing water saving while raising rice yields with the System of Rice Intensification, *Science, Technology and Trade for Peace and Prosperity: Proceedings of the*

26th International Rice Congress, 9-12 October, 2006, New Delhi, eds. P.K. Aggrawal et al., pp. 353-365.

Van Hulst F., Naudin K., Domas R., De Graaff J., Visser S., Scopel E. (2011), Conservation Agriculture potential effects on soil erosion for rainfed crops in the Lake Alaotra region in Madagascar, 5th World Congress of Conservation Agriculture incorporating 3rd Farming Systems Design Conference, September 2011 Brisbane, Australia.

Woltering L. (2010), The African Market Garden – Le Jardin Potager Africain, presentation du 15 juin 2010, Ouagadougou, International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.

Entretiens réalisés

Patrice DJAMEN, ACT, 27 juin 2012.

Patrick DUGUE, CIRAD, UMR Innovation, 13 juin 2012.

Pierre FERRAND et Lucie REYNAUD, GRET, 25 juillet 2012.

Hervé LEVITE, Centre de Coordination des Ressources en Eau de la CEDEAO, 27 juin 2012.

Krishna NAUDIN, CIRAD, Persyst, UPR SCA, 21 juin 2012.

Dominique ROLLIN, Patrick ROSIQUE et Jean-Claude MAILHOL, IRSTEA, UMR G-eau, 13 juin 2012.

Laurent STRAVATO et Aïda GANABA, IDE Burkina Faso, 21 juin 2012.

Kokou ZOTOGLO, USAID/ATP, 17 juillet 2012.

Annexes

Annexe 1 : impact du SCV sur les sols et la gestion des adventices et des ravageurs

Avantages		Limites	
Effets	Exemples	Effets	Exemples
Qualité du sol			
Diminution de l'érosion grâce à une couverture permanente du sol par des résidus de culture ou une plante de couverture (vivante ou morte).	<u>Madagascar</u> (Van Hulst et al. 2011): Chez l'agriculteur - rotation maïs/riz (conventionnel) 86.6t/ha/an d'érosion - rotation maïs/riz avec une année au moins de plante de couverture, sans labour (SCV) 5.5t/ha/an d'érosion. <u>Madagascar</u> (Naudin et al. 2011) : Une couverture de 30 % de la surface est nécessaire pour diminuer significativement l'érosion.		
Enrichissement en matière organique de l'horizon supérieur	<u>Tunisie</u> (Annabi et al. 2011): Augmentation de la teneur en carbone de l'horizon 0-10 cm de : +0.3 % pour un non labour de moins de 5 ans +0.7 % pour un non labour de plus de 5 ans	Enrichissement en carbone inégal à différentes profondeurs de l'horizon (Angers et Eriksen-Hamel 2008)	
Enrichissement en nutriments du sol (K, P, N), Ceci dépend de la nature du sol rencontré	<u>Éthiopie</u> (Debele 2011) : Augmentation après 5 ans des nutriments disponibles dans un système sans labour contre un système avec labour et rétention de résidus sous culture de maïs (nitisols)	Exportations plus importantes qu'en système conventionnel motivées par la présence de plusieurs cycles de culture par an (culture principale et plante de couverture)	
Le retour des résidus limite l'appauvrissement du sol en réduisant les exportations (lié aux deux points précédents). L'horizon de sol exploité par la culture principale peut même être enrichi par recyclage de résidus de la plante de couverture qui puise ses nutriments dans un compartiment du sol différent de celui de la plante de couverture (AFD 2006).		Immobilisation des nutriments dans le couvert non encore dégradé donc moins de nutriments disponibles pour la culture principale. Une dégradation plus lente des résidus qu'en système conventionnel	<u>France</u> (Khaledian et al. 2010) : Comparaison en culture traditionnelle et SCV de blé, maïs et sorgho. Stock de nitrate du sol moins élevé dans le cas du SCV, et dégradation du couvert plus lent.
Augmentation de la microfaune du sol (Giller et al. 2009)		L'augmentation de la microfaune ne permet pas de conclure quant à une meilleure activité biologique (Giller et al. 2009)	
Absence de formation d'une semelle de labour qui limite l'exploitation du sol par les racines (et d'une croûte superficielle) ²⁸		Temps de transition nécessaire sur les sols compacts car le labour permet de décompacter le sol (Giller et al. 2011)	
Gestion des adventices et des ravageurs			
Diminution de la pression des adventices et des ravageurs du à la présence du couvert (ombrage et allélopathie) et de la rotation des cultures (brise le cycle). Ceci nécessite une couverture de 90 % du sol pour être efficace contre les adventices (Naudin et al. 2011).	<u>Cambodge</u> (Bunna et al. 2011) : Rotation de riz et de haricot mungo avec ou sans résidus de culture montre que l'action des résidus est d'autant plus importante que la pression des adventices est forte	Couverture insuffisante pour remplir le rôle de compétition avec les adventices (Giller et al. 2009) Contrôle de la plante de couverture nécessaire (AFD 2006) →recours aux herbicides Couvert propice au développement de ravageurs ou maladies (Giller et al. 2009) L'arrêt du labour ne permet plus le contrôle des adventices	

²⁸ Entretien avec Dominique Rollin, 13 juin 2012

Annexe 2 : revue de différentes études sur l'impact du SRI sur les rendements, économies en eau, réduction des coûts et revenus nets dans différents pays d'Asie

Source : Uphoff (2007)

Country	Evaluation done by/for	Yield Increase	Water-Saving	Reduction in Costs	Increase in Net Income	Data Base and Comments
BANGLADESH GTZ commissioned evaluation	BRAC/SAFE/ POSD/BIRRI/ Syngenta-B D Ltd., funded by IRRI Bangladesh prog. (Hossain, 2004)	24 %	Not measured	7 %	59 % (32- 82 %)	On-farm Evaluations (N=1,073), funded by IRRI PETRRA project
CAMBODIA National survey covering 5 provinces	(Anthofer et al., 2004)	41 %	Flooding at TP from 96.3 % to 2.5 %	56 %	74 %	Random sample survey of 400 SRI users and 100 non-users (N=500)
Long-term SRI users: 36 villages in 5 provinces	CEDAC (Tech, 2004)	105 %	50 %	44 %	89 %	Farmers who had used SRI for 3 years (N=12 0)
CHINA Xinsheng village, Sichuan province	China Agricultural University (Li et al., 2005)	29 %	44 %	7.4 %	64 %	SRI use in village had gone from 7 in 2003, to 398 in 2004 (N=104)
INDIA Tamil Nadu: Tamiraparani river basin	Tamil Nadu Agricultural University (Thiyagarajan et al., 2005)	28 %	40-50 %	11 %	112 %	On-f arm trials supervised by TNAU and state ext. service (N=100)
Andhra Pradesh: All 22 districts	Andhra Pradesh Agric. University (ANGRAU) (Satyanarayana et al., 2006)	38 %	40 %	NA	NA	On-farm trials supervised by ANGRAU and State ext. service (N=1,525)
West Bengal: Purulia district	IWMI-India (Sinha and Talati, 2005)	32 %	Rainfed version of SRI	35 %	67 %	SRI use in demo villages had gone from 4 farmers to 150 in 3 seasons
INDONESI A S. Suluwesi and Nusa Tenggara provinces	Nippon Koei- Decentralized Irrigation System s Irrig.Mgmt. Project (Sato, 2006)	84 %	40 %	24 %	412 %	3 years of on-farm evaluation trials on 1,363 ha (N= 1,849)
NEPAL Morang district	Morang District Agricultural Development Office (Upriety, 2005)	82 %	43 %	2.2 % Rotary hoes not yet widely available	163 %	SRI users in the district went from 1 in 2003 to >1,400 in 2005 (for data: N=412)
SRI LANKA Ratnapura and Kurunegala districts	IWMI (Namara et al., 2004)	44 %	24 %	11.9-13.3 %	90-117 %	Survey of 60 SRI users and 60 non-users, randomly sampled (N=120)
VIETNAM Đông Trù village, Hanoi province	National IPM Program (Uphoff, 2006)	21 %	60 %	24 %	65 %	Record-keeping by Farmer Field School alumni on SRI results
AVERAGE		52 %	44 %	25 %	128 %	

Retrouvez les diverses collections de la fondation FARM

Notes : cette collection fait le point, de manière synthétique, sur des sujets d'actualité ou des thèmes de recherche, pour nourrir la réflexion et susciter le débat. Les Notes sont publiées mensuellement par les membres de l'équipe de la fondation.

Etudes : cette collection regroupe des analyses approfondies sur une thématique de la fondation FARM. Réalisées par un chef de projet de FARM et/ou par un auteur extérieur, sous la houlette de FARM, ces études sont supervisées par un comité de pilotage composé d'experts du monde agricole et rural.

Documents de travail : cette collection communique les résultats des recherches effectuées par un chef de projet de FARM, un étudiant stagiaire ou un expert extérieur sur une thématique de réflexion de FARM. Intermédiaires entre les Notes et les Etudes, les Documents de travail sont élaborés sans comité de pilotage.

Champs d'acteurs : cette collection est dédiée aux actions de terrain menées par FARM ou ses partenaires. L'objectif est de formaliser et diffuser les résultats d'expériences portées par différents acteurs du développement agricole et rural. Les Champs d'acteurs sont réalisés par un chef de projet de FARM et/ou un auteur extérieur, sous la supervision de FARM et de ses partenaires.

Point de vue : cette collection expose le point de vue d'un expert extérieur à FARM sur un sujet donné. Son opinion n'est pas nécessairement partagée par la fondation, mais est suffisamment argumentée et stimulante pour être mise en débat.

Toutes les publications de la fondation FARM sont disponibles en version électronique sur www.fondation-farm.org.



Nous écrire / To write us

Fondation FARM

s/c Crédit Agricole S.A.
12, Place des États-Unis
92127 Montrouge Cedex

Nous rencontrer / To meet us
100, boulevard du Montparnasse
75014 Paris

Rendez-vous sur notre site Internet
More information on our website

<http://www.fondation-farm.org>

contact@fondation-farm.org
Tél : +33(0) 1 57 72 07 19