



Mémoire de fin d'études

DAA AGER

Présenté par Claire Cogoluènes

Evaluation des économies d'eau réalisables par l'agriculture de la zone irriguée du District d'Irrigation Alto Rio Lerma, Mexique

Impact de l'introduction de deux innovations techniques

IRD Mexique – UR Dynamique Social de l'Irrigation
IMTA – UR Participación Social

Enseignant responsable INA P-G
Stéphane De Tourdonnet

Maître de stage
Eric Mollard (IRD)

Soutenu le 22 Septembre 2004

Remerciements

J'aimerais remercier tout d'abord l'équipe de *Participación Social* de l'IMTA ainsi qu'Eric Mollard de l'IRD pour m'avoir offert l'opportunité d'intégrer leur équipe pendant ces 6 mois.

Toute ma reconnaissance va également au personnel du module d'Irapuato pour leur accueil chaleureux, leur disponibilité et leur soutien de tous les jours. Un merci tout particulier à l'Ingénieur Zambrano, pour m'avoir appris énormément de chose sur le Mexique et son agriculture, et à Victor, que j'ai bien souvent sollicité. Merci aux *canaleros* (et plus particulièrement Angel) pour leur soutien logistique et leur convivialité.

Une pensée particulière à toutes les personnes qui m'ont à un moment ou à un autre apporté une aide précieuse :

- Le Dr Arreola, de l'INIFAP, pour ses suggestions méthodologiques et sa sollicitude.
- L'Ingénieur Muñoz du SDA, pour sa grande disponibilité
- Les ingénieurs Marmolejo et Negrete de la SdRL pour leur aide technique
- Le personnel du module de Huanimaro

Et pour finir, les amis de tous les jours...Que les vayan bien y espero que vamos a vernos pronto!

Glossaire des abréviations utilisées

CNA : Commission Nationale de l'eau

CEH : Conseil Hydraulique de l'Etat

SdRL : Société à Responsabilité Limitée, gestionnaire du réseau secondaire d'irrigation

DR : District d'irrigation

DR 011 : District d'irrigation Alto Rio Lerma

SDA : Secretariat de Développement Agricole

IMTA : Institut Mexicain de Recherche sur l'Eau

INIFAP : Centre National de Recherche Agronomique

ASOSID : Association de développement d'une agriculture durable basée sur le semis direct

INTRODUCTION	5
PARTIE 1 : CONTEXTE GENERAL, PROBLEMATIQUE D'ETUDE ET METHODOLOGIE	6
A. CONTEXTE GENERAL	6
1) <i>Le Bajío Guanajuatense : un milieu agro-écologique favorable à l'agriculture</i>	6
2) <i>Evolution et impact des politiques agraires mexicaines sur le contexte agricole du Bajío</i>	8
3) <i>Le contexte particulier de l'irrigation dans le Bajío</i>	10
B. PROBLEMATIQUE ET METHODOLOGIE DE L'ETUDE	13
1) <i>Problématique</i>	13
2) <i>Méthodologie</i>	15
PARTIE 2 : CADRE THEORIQUE	21
A. L'IRRIGATION A LA RAIE	21
1) <i>Principes généraux</i>	21
2) <i>Pilotage et conduite de l'irrigation à la raie</i>	22
3) <i>Caractérisation des efficacités</i>	25
B. SEMIS DIRECT ET NIVELLEMENT LASER : 2 INNOVATIONS EN MATIERE D'ECONOMIES D'EAU	27
1) <i>Le semis direct sur couvert végétal (SCV)</i>	27
2) <i>Le nivellement laser</i>	34
PARTIE 3 : FONCTIONNEMENT DE L'AGRICULTURE IRRIGUEE ET CONDITIONS D'ADOPTION DES INNOVATIONS DANS LE MODULE D'IRAPUATO	41
A. CARACTERISATION DE L' AGRICULTURE IRRIGUEE.....	41
1) <i>Présentation générale du module d'Irapuato</i>	41
2) <i>Les systèmes de cultures : clés de fonctionnement</i>	42
3) <i>Maraîchage et cultures pérennes</i>	44
4) <i>Fonctionnement de l'irrigation au sein du module</i>	45
4) <i>Bilan sur l'usage de l'eau</i>	50
B. CONTEXTE D' ADOPTION DU NIVELLEMENT LASER ET DU SEMIS DIRECT DANS LE MODULE D'IRAPUATO	54
1) <i>Développement des innovations étudiées</i>	54
2) <i>Conditions d'adoption : Résultats des enquêtes</i>	55
PARTIE 4 : RESULTATS DE QUANTIFICATION DES ECONOMIES D'EAU A LA PARCELLE	61
A. ECONOMIES D'EAU GRACE AU SEMIS DIRECT	61
1) <i>Méthodologies rejetées</i>	61
1) <i>Données préliminaires</i>	61
2) <i>Résultats en conditions d'expérimentales – Cycle OI</i>	61
2) <i>Résultats suivis d'irrigation à la parcelle – Cycle PV</i>	65
3) <i>Résultats enquêtes</i>	68
B. ECONOMIES D'EAU GRACE AU NIVELLEMENT LASER.....	70
1) <i>Méthodologies rejetées</i>	70
2) <i>Données préliminaires</i>	70
3) <i>Evolution des lames d'eau à l'échelle du module</i>	70
4) <i>Evaluation des lames d'eau à l'échelle de la parcelle</i>	72
5) <i>Résultat des enquêtes</i>	75
C. CONCLUSIONS : BILAN SUR LES ECONOMIES	76
CONCLUSION	77
BIBLIOGRAPHIE	78

INTRODUCTION

Le lac Chapala, plus grand lac du Mexique, connaît depuis quelques années un déséquilibre hydrique inquiétant. En effet, les eaux du bassin hydrographique Lerma Chapala sont au centre d'un réel conflit d'intérêt : D'une part, le lac constitue la principale source d'approvisionnement en eau potable de la 2ème ville du Mexique. D'autre part, les périmètres agricoles situés en amont du bassin utilisent les eaux du fleuve Lerma pour l'irrigation. Le problème revêt alors une dimension politique : un accord de distribution a été mis en place par les 5 Etats du bassin, mais celui-ci est remis en question par l'Etat agricole du Guanajuato qui souhaite garantir l'apport en eau au Bajío Guanajuatense, l'un des pôles de production agricole du Mexique.

Dans ce cadre, l'agriculture est souvent montrée du doigt, car trop gaspilleuse d'eau. En effet, les systèmes d'irrigation du Bajío, majoritairement gravitaires, montrent une efficacité d'usage de l'eau relativement faible. Dans le contexte d'une agriculture en baisse de compétitivité, et dont la productivité est directement conditionnée par le facteur eau, comment permettre aux producteurs de mieux maîtriser leur consommation d'eau d'irrigation ?

Cette thématique est au coeur des préoccupations de l'*Instituto Mexicano de Tecnologia del Agua*, et plus particulièrement, de l'équipe de *Participación Social*, qui souhaite remettre en route les négociations entre Etats. Cette étude aura ainsi pour objectif d'étudier dans quelle mesure l'introduction de deux innovations techniques, le semis direct sur couvert végétal et le nivellement laser des terres, peut permettre à l'agriculture du Bajío d'utiliser l'eau de façon plus efficace. Ces innovations, de nature différente, prennent tout leur intérêt dans le fait qu'elles soient dites de « bas coûts », et ainsi accessibles au plus grand nombre.

Pour cela, nous présenterons, dans un premier temps, le contexte de l'agriculture irriguée du Bajío, en mettant l'accent sur les particularités de la gestion de l'eau au Mexique. Dans un deuxième temps, un travail d'entretiens et d'études bibliographiques nous permettra de définir le cadre théorique de l'étude : compréhension des systèmes d'irrigation à la raie, influence du semis direct et du nivellement laser sur le facteur eau, importance de la diffusion de ces innovations. Les résultats du travail de terrain feront l'objet de la suite de l'étude : Nous réaliserons tout d'abord un décryptage de l'agriculture irriguée et du contexte d'adoption des innovations dans le cas concret d'une association d'irrigants. Cette étude permettra d'envisager différentes approches quant à la quantification des économies d'eau réalisables.

Partie 1 : Contexte général, problématique d'étude et méthodologie

A. Contexte général

L'analyse du contexte de l'agriculture irriguée du Bajío, et plus particulièrement de ses facteurs écologiques et historiques, montre un intérêt tout particulier dans la mesure où elle permet d'introduire la problématique de l'utilisation de l'eau dans les périmètres irrigués de cette région.

1) Le Bajío Guanajuatense : un milieu agro-écologique favorable à l'agriculture

Le Bajío est un grand bassin volcanique dont l'altitude oscille entre 1700 m et 2100 m, situé au centre Ouest du Mexique. Le climat tempéré de la zone, la richesse de ses vertisols, et le développement des zones irriguées, basé sur l'exploitation de ressources souterraines et superficielles, ont fait du Bajío un des premiers centres agricole et économique mexicain. Il recouvre l'Etat de Guanajuato, et une partie des Etats de Michoacán, Jalisco et Querétaro. Cette étude se limitera à la partie du Bajío appartenant à l'Etat du Guanajuato (Cf. annexe 1), le Bajío Guanajuatense, et plus particulièrement au district d'irrigation 011 Alto Rio Lerma et ses modules d'irrigation.

a. Le milieu physique

- **Un climat marqué par l'alternance saison sèche / saison des pluies**

Le Bajío est marqué par un climat tempéré sub-humide, avec alternance d'une saison sèche de Novembre à Avril, et d'une saison humide de Mai à Novembre. La température moyenne est de 19,6°C, avec des écarts allant de 12,9 en janvier à 29,1°C en mai. Ainsi, l'essentiel des précipitations se concentre sur la période hivernale, atteignant une moyenne annuelle de 670 mm, pour une évapotranspiration de 1900 mm (Guillet et Ollivier, 2000). Il existe donc un déficit hydrique proche de 1 pendant plus de 6 mois (Cf. annexe 2), ce qui rend l'irrigation indispensable à la mise en place de culture pendant cette période.

Finalement, les principales contraintes liées au climat pour l'agriculture sont :

- L'existence d'une saison sèche qui exclut toute mise en culture durant l'hiver en dehors des zones irriguées
- L'incertitude quant à l'arrivée de la saison des pluies, ce qui peut entraîner de longues périodes de sécheresse durant les mois de Mai-Juin
- La possibilité de gel durant les mois de Décembre et Janvier

- **Des vertisols profonds et fertiles**

Sur ce substrat volcanique se sont développées des argiles profondes aux propriétés vertiques riches en bases calcium et magnésium, comptant parmi les sols les plus aptes à l'agriculture en zone tropicale (Ramada, 1993). Cependant, de nombreuses contraintes liées à leur utilisation agricole existent : dureté en saison sèche, lourdeur en condition humide ce qui les rend parfois peu praticables aux machines. Ceci implique des aménagements en matière de drainage et d'irrigation, ainsi que des apports en matière organique. Ceux-ci permettent d'améliorer la structure en luttant contre les fentes de retrait liées à la dessiccation en saison sèche, pouvant entre autre gêner le semis et impliquer l'utilisation de quantités d'eau d'irrigation plus importantes. Cependant, on note que le taux de matière organique diminue graduellement dans le sol du Bajío, et ceci depuis 40 ans (Grajeda, 2000).

- **Le réseau hydrographique**

Le Bajío Guanajuatense appartient en grande partie au bassin versant du Lerma Chapala (Cf. annexe 3), s'étendant sur une surface de 49 000 km² (Consejo Estatal Hidraulico, 2002). 50% de la surface du bassin versant appartient à l'Etat du Guanajuato.

Après avoir pris sa source dans la vallée de Toluca, à l'Ouest de Mexico, le Rio Lerma traverse les Etats de Mexico, Querétaro, Guanajuato, Michoacán et enfin Jalisco, où il se jette dans le Lac Chapala. Il poursuit ensuite jusqu'à l'océan pacifique, sous le nom de Rio Santiago, mais il est aujourd'hui presque tout le temps sec.

Le Rio Lerma alimente la 2^{ème} ville du Mexique, Guadalajara, en eau domestique, ainsi que les 9 districts d'irrigation (*Distrito de Riego* : DR), dont le DR 011, du bassin hydrographique. Un accord existe entre les 5 Etats du bassin versant, et vise à réglementer la distribution de l'eau entre les divers usages.

b. L'agriculture en zone irriguée du Bajío

- **Ressource en eau et aménagements hydrauliques**

Face à la forte potentialité agronomique des sols du Bajío et à un climat marqué par une saison sèche hivernale, il n'est pas étonnant que les colons espagnols aient mis en place dans les vallées de grands systèmes d'irrigation. Actuellement, des systèmes de retenues des eaux en saison des pluies et le forage de puits profonds ont permis la mise en culture de surfaces importantes en saison sèche.

On distingue ainsi deux sources d'approvisionnement en eau d'irrigation :

- Les eaux superficielles, stockées dans de grands barrages en amont du système. L'eau est alors acheminée par un réseau complexe de canaux jusqu'aux parcelles. Ceci implique le développement d'une infrastructure importante. On peut actuellement diviser la zone d'irrigation en deux entités distincts : les districts d'irrigation représentent la « grande irrigation ». Leur alimentation en eau est assurée par de grandes structures dont la gestion était aux mains du gouvernement jusqu'en 1992. Les unités d'irrigation concerne la petite hydraulique et ont toujours été gérées par les usagers eux-mêmes. La zone irriguée du bassin Lerma Chapala représente environ 830 000 ha, répartis entre la grande (34 %) et la petite irrigation (66 %) (CNA-IMTA, 2003).

- Les eaux souterraines, dont l'extraction a été permise par la mise en place de forages profonds pouvant atteindre plus de 200 mètres. 3 aquifères permettent l'approvisionnement en eau souterraine de l'Etat du Guanajuato. Ce type irrigation a été mise en place tardivement, et s'est développé à la fois au sein et à l'extérieur des grands périmètres d'irrigation. Ces infrastructures sont en partie de type privées, gérées individuellement ou en groupe. Des puits ont également été forés sur financement public, dès les années 1970, pour permettre l'irrigation des terres hautes appartenant aux districts d'irrigations, et difficilement alimentés par les eaux de surface. La gestion de ces puits dits officiels était réalisée par l'Etat, jusqu'au transfert de 1992 (cf. I. A. 3). Le Guanajuato est l'Etat qui concentre la densité de puits la plus importante du pays, avec plus de 18 000 puits recensés, illicites ou légaux.

- **Systèmes de production en zone irriguée**

Le Bajío Guanajuatense et le Guanajuato en général constituent aujourd'hui l'une des zones agricoles les plus productives du Mexique : 2^{ème} Etat exportateur et 5^{ème} producteur de céréales, la production de sorgho y représente 27% de la production totale du pays, et 11% pour le blé. Les rendements moyens obtenus dans l'Etat sont élevés par rapport à la moyenne nationale, avec 6,2 t/ha pour le sorgho et 5,7 t/ha pour le blé, contre 3 et 4,9 au niveau national. Depuis quelques, l'Etat du Guanajuato est également l'un des principaux producteurs de cultures maraichères

destinées à l'exportation telles que le brocolis, l'asperge ou le chou fleur, ainsi que des cultures maraîchères plus « traditionnelles » comme l'oignon ou le piments.

Comme il a été dit précédemment, le développement du réseau d'irrigation a permis la mise en place de deux cycles de culture :

- le cycle Printemps-Eté PV (*Primavera-Verano*) ou cycle de saison humide, au cours duquel sont semés majoritairement le maïs blanc et le sorgho.
- le cycle Automne-Hiver (*Otoño-Invierno*) ou cycle de saison sèche, où les cultures de blé et d'orge dominant.

- **Conclusion : Un milieu favorable, mais une agriculture en crise écologique**

Le Bajío est ainsi doté de conditions agro-écologiques extrêmement favorables. Cependant, la surexploitation des nappes phréatiques a montré depuis quelques années la limite de ce système avec l'abaissement des aquifères évalué à 40% sur l'Etat, soit une baisse annuelle de niveau de 1 à 4 mètres (Marañón, 1999). Cette baisse du niveau des nappes entraîne notamment une augmentation régulière des coûts d'extraction. D'autre part, les tensions autour de l'accès à l'eau superficielle et les tensions entre différents usages pose une incertitude quant à l'avenir du système.

Le futur de l'agriculture irriguée, qu'elle soit liée à l'eau souterraine ou à l'eau superficielle est donc pour le moins menacé.

A ceci s'ajoute la perte de fertilité des sols, et notamment du taux de matière organique, et à l'utilisation non raisonnée et donc souvent abusive d'intrants.

2) Evolution et impact des politiques agraires mexicaines sur le contexte agricole du Bajío

Cette approche rapide de l'histoire agricole mexicaine est essentielle à la compréhension des structures établies actuellement au sein de la population paysanne.

a. De la conquête à la réforme agricole : le statut particulier des « ejidos »

Au cours de la conquête espagnole, une très forte différenciation sociale se développe alors entre grandes haciendas à logique productiviste, opposées aux paysans indigènes dépourvus de terre. Cette opposition persistera globalement jusqu'à la Révolution de 1910, au cours de la quelle une des principales revendications des groupes sociaux était la réforme agricole. Celle-ci fut mise en place à partir des années 30. Les haciendas furent alors expropriées de leur terre, laissant au maximum 100 hectares irrigués à l'*hacendero* ou « petit propriétaire ». La répartition équitable des terres entre les travailleurs de l'hacienda, qui s'organisèrent volontairement en liste de demandeur, aboutit à la création des ejidos. Ainsi, chaque membre de l'ejido, ou ejidatario (*ejidatario*), obtenait l'usufruit d'une parcelle de 5 à 8 hectares. La distinction entre **ejidatarios**, descendants des travailleurs des haciendas et des paysans sans terre, et « **petits propriétaires** », héritiers des hacenderos marque aujourd'hui encore la structure agricole. Paradoxalement, le terme de « petites propriétés » a été conservé alors qu'il définit les plus grandes exploitations actuelles.

b. Révolution verte et transition vers une agriculture commerciale

Dans les années 1950, l'agriculture du Bajío, et en particulier l'agriculture irriguée, connaît de profondes transformations. La révolution verte est censée répondre à la volonté d'orientation de l'Etat mexicain vers un modèle agricole productiviste afin de soutenir l'industrialisation.

Dans ce processus d'intensification, le gouvernement imposera ainsi entre 1945 et 1990 une présence forte dans toute la filière agricole, pour impulser une croissance économique et assurer aux producteurs une forte rémunération. Il encadrera la paysannerie à travers les ejidos, et les

étapes de production par l'intermédiaire d'institutions spécialisées dans l'appui aux producteurs comme BANRURAL pour les prêts financiers, FERTIMEX pour l'approvisionnement en intrants ou la CONASUP pour la garantie des prix d'achat aux agriculteurs.

La première révolution verte se traduit, d'une part, par la mise en place de programmes d'amélioration variétale et l'introduction d'intrants chimiques et, d'autre part, par de grands travaux permettant d'augmenter les surfaces irriguées par les eaux superficielles.

Une nouvelle étape dans la modernisation est initiée à partir des années 1970. L'utilisation de machines agricoles se généralise et de nouvelles cultures s'implantent. Le Mexique connaît alors une importante spécialisation régionale de la production dans un petit nombre de bassins intensifs (Linck, 2001). Ainsi, les systèmes de cultures mis en place dans le Bajío s'en trouvent modifiés. Les surfaces en cultures fourragères (sorgho, luzerne) augmentent considérablement en vue d'alimenter les bassins d'élevage industriel porcin, laitier et avicole situés autour du Bajío.

c. Désengagement de l'Etat et ouverture économique

Au début des années 1980, le Mexique connaît une crise économique sans précédent: une dévaluation du peso est tentée pour faire face entre autre à une dette héritée de la politique protectionniste. L'Etat mexicain se désengage alors progressivement du secteur agricole dans lequel il a injecté des fonds massifs durant plusieurs décennies. Le transfert de gestion des eaux superficielles d'irrigation aux producteurs, avec la création de modules d'irrigation en 1992, est une étape primordiale de ce désengagement (cf. Partie 1 A. 3). Une série de mesures visant l'ouverture économique du pays est prise, dont les deux plus marquantes sont l'entrée dans le GATT en 1986 et la signature officielle de l'ALENA (Accord de Libre-Echange Nord-Américain) en 1994. L'Etat mexicain diminue alors progressivement le soutien aux prix des céréales dont les prix de vente s'alignent alors sur les cours mondiaux. A ceci s'ajoute la suppression des subventions agricoles, l'abolition ou la réduction des barrières douanières, et la privatisation de nombreuses entreprises d'Etat dont Fertimex.

Notons qu'au sein de ce mouvement de désengagement de l'Etat, une réforme de la constitution met fin en 1992 à la réforme agraire, permettant aux ejidataires d'accéder à un titre de propriété, soit au droit de vendre ou de louer leur terre.

d. Conclusion : Une agriculture en perte de rentabilité

Les cours mondiaux des céréales sont restés favorables jusqu'en 1998, et donc malgré l'inexistence de soutiens au prix promis par le gouvernement, les producteurs ne sont vraiment soumis à une diminution sensible des prix des produits que depuis trois ans. Parallèlement, les prix des intrants ne cessent d'augmenter d'années en années, du fait de la chute du peso face au dollar.

On comprend donc aisément que les systèmes de production intensifs du Bajío, gourmands en intrants et basés essentiellement sur la production de céréales, connaissent une baisse de rentabilité vertigineuse. L'évolution des systèmes de production est donc nécessaire.

Les exploitations présentant les ressources nécessaires peuvent alors tenter d'orienter leurs productions vers des cultures d'exportation à plus haute valeur ajoutée, et plus particulièrement les cultures maraîchères sous contrôle d'agro-industries de congélation et de conditionnement (brocoli, choux-fleurs, asperges et ail). Ainsi, depuis les années 80, des entreprises transnationales ou nationales se sont installées dans le Bajío, exerçant un contrôle omniprésent sur les étapes de la production agricole par l'intermédiaire de contrats et de crédits avec les agriculteurs.

Cependant, les plus « petits », dont les moyens de production sont évidemment limités, doivent faire face à cette crise sans soutien réel du gouvernement.

De cette étude de l'agriculture du Bajío ressortent deux réflexions essentielles à la suite de ce travail:

- Un long processus de différenciation historique, en lien avec les politiques agricoles nationales et les particularités du Bajío, a conduit à une variété importante des systèmes de production existant au sein des périmètres irrigués. Cette variété repose sur plusieurs facteurs, parmi lesquels on citera le type de tenure de la terre, la surface, l'accès à l'eau, le degré de mécanisation et d'intégration au marché. La prise en compte de ces facteurs de différenciation est primordiale quant à la diffusion de toute innovation technique, comme nous le verrons plus loin.

- On a parlé d'une agriculture en crise écologique et économique, ce qui souligne l'importance de développer des solutions « à bas coûts » dans un but de sauvegarde des ressources naturelles, comme l'eau dans le cadre de ce projet.

3) Le contexte particulier de l'irrigation dans le Bajío

Cette étude est une base nécessaire à la compréhension de l'organisation de la distribution de l'eau d'irrigation au sein des modules, et donc à l'évaluation de l'efficacité de son utilisation.

a. La gestion de l'eau d'irrigation : Mécanismes et effets du processus de décentralisation

- *Une prise en main du gouvernement sur la ressource en eau*

L'irrigation à grande échelle dans le Bajío commence avec la conquête espagnole grâce à la mise en place de grands ouvrages hydrauliques, fruits de l'association des haciendas et donc d'initiative privée.

A la fin du XIX^e siècle, et pour plus d'un siècle, l'Etat mexicain prend le contrôle de la gestion des eaux superficielles et engage un processus de centralisation. Une loi décrétée en 1888 établit que l'eau superficielle, domaine public, peut être cédée en concession à des usagers.

Après la révolution, le développement des infrastructures d'irrigation est une priorité nécessaire à l'augmentation de la production agricole. La Commission Nationale de l'Irrigation (CNI : *Comisión Nacional de Irrigación*), qui deviendra par la suite le Secrétariat des Ressources Hydrauliques (SARH : *Secretaría de Recursos Hidráulicos*) est créée dans le but de planifier, de construire et de faire fonctionner les grandes infrastructures hydrauliques.

C'est dans les années 1940-1950, à l'époque de la révolution verte, que l'Etat entreprend de grands travaux d'irrigation, et sont alors construits le barrage Solis et les grands canaux d'irrigation du district 011.

En 1989, une agence autonome est créée au sein du SARH, la Commission Nationale de l'Eau (CNA : *Comisión Nacional del Agua*), dont la fonction est d'engager le processus de transfert de la gestion de l'eau superficielle aux nouvelles associations d'usagers (Garcés-Restrepo, 2001).

Dans le cas des eaux souterraines, l'intervention de l'Etat est plus tardive : pendant longtemps, tout propriétaire foncier peut extraire et exploiter librement l'eau souterraine. En 1917, la constitution établit pour la première fois le droit du gouvernement fédéral à réglementer l'utilisation de l'eau souterraine -droit dont il ne fera usage que bien plus tard-, sans s'en déclarer propriétaire. Ce n'est qu'en 1945 que les aquifères sont considérés comme étant une propriété nationale. Des zones d'interdiction de forer sont alors mises en place pour faire face à la surexploitation. Cependant, des permis ont été octroyés malgré les décrets, et de nombreux puits illégaux ont ainsi été construits.

- ***Le transfert de la gestion aux usagers***

La réforme économique initiée dans les années 1980, suivie du désengagement de l'État à partir des années 1990, présente des répercussions importantes sur le secteur hydraulique : diminution des investissements dans le secteur, restructuration des institutions chargées de l'administration des ressources hydrauliques et mise en place du transfert des districts d'irrigation. L'objectif principal de ce transfert, précisé dans la nouvelle loi sur l'eau promulguée en 1992, est de réduire les dépenses publiques de l'irrigation en promouvant une plus grande participation des usagers dans la gestion des districts d'irrigation

Les districts sont alors divisés en modules, anciennement unités d'irrigation, gérés par des associations civiles d'usagers, qui se voient transférer la responsabilité de la gestion, et de la planification de l'irrigation. Ces associations fixent également les tarifs des redevances pour l'irrigation en fonction des coûts de maintenance. Ce principe doit inciter les usagers à une utilisation plus efficace de l'eau et permettre l'autosuffisance financière des modules. Les modules doivent payer un pourcentage de la totalité des redevances collectées à la CNA et à la SdRL (*Sociedad de Responsabilidad Limitada*, cf Partie 1. 3. c.).

En ce qui concerne les eaux souterraines, dont la gestion était jusqu'alors très centralisée car aux mains de la CNA, le processus de transfert est légèrement plus tardif. Il faut attendre 1997 et la création des COTAS (Conseil technique des eaux ou Comité technique sur les eaux souterraines) pour voir se mettre en place une organisation des usagers de l'eau souterraine. Leur but est d'organiser les usagers afin de rationaliser l'utilisation des eaux souterraines, avec pour but ultime une gestion intégrale de la ressource en eau. La gestion par les COTAS est encore très peu avancée (Gillet Ollivier, 2002).

c. L'organisation institutionnelle de l'irrigation par eau superficielle

- ***Le rôle des différentes organisations***

La CNA a, depuis le transfert, le rôle de gestion des réservoirs, canaux principaux et infrastructures « de tête » (Kloezen, Garcés-Restrepo 1998), dont elle est propriétaire. Malgré la décentralisation, la CNA reste l'organisme possédant le plus de pouvoir et d'influence dans la gestion actuelle de la ressource en eau (Gillet, Ollivier, 2002).

La SdRL regroupe les associations civiles d'usagers, et est chargée de la concession du réseau primaire et de la livraison d'eau dans chacun des modules. Elle joue un rôle d'intermédiaire administratif entre les modules et la CNA, qui a un droit de contrôle sur la gestion économique de la société.

La SdRL peut également se fixer d'autres objectifs, comme par exemple un usage plus efficace de l'eau : Ainsi, dans le DR 011, des programmes de promotion du semis direct, au travers de l'association ASOSID, sont actuellement développés. Des techniciens s'intéressent également à la mise en place de cultures alternatives, comme le pois chiche, en fournissant aux agriculteurs une assistance technique et une possibilité de vente au travers de contrats (Entretien SdRL).

Les modules ont pour rôle la gestion, la maintenance et l'administration des réseaux secondaires. Ils sont constitués de quatre niveaux administratifs et institutionnels : l'assemblée générale, le comité de vigilance, un bureau et le personnel technique. L'assemblée générale est composée des représentants des *ejidos* et de la « petite propriété ». Tous les trois ans, elle élit le bureau de l'association (président, trésorier, secrétaire). En théorie, le bureau est composé de « petits propriétaires » et d'éjidataires, et à chaque mandat la composition doit changer, et la présidence assumée alternativement par un « petit propriétaire » et un éjidataire. Le conseil de vigilance doit surveiller le bon fonctionnement du module. Le personnel technique, salarié,

comprend les comptables, ingénieurs, techniciens et *canaleros* ou aiguadiers. Nous nous intéresserons plus particulièrement aux rôles de ces derniers lors de la caractérisation de l'agriculture irriguée dans la zone d'étude, le module d'Irapuato.

- ***L'allocation de la ressource en eau au niveau du district***

Il s'agit ici de mettre en évidence la façon dont sont quantifiés, pour chaque année agricole, les volumes d'eau attribués au niveau du district à chaque module. Nous utiliserons ces résultats par la suite (Cf. Partie 4) lors de l'évaluation des économies d'eau réalisées au sein des modules d'irrigation.

La répartition des volumes d'eau estimés disponibles, pour chaque année agricole, est définie en octobre par la CNA. Le volume octroyé pour l'année agricole à chaque module est évalué à partir de la disponibilité en eau des retenues principales, par exemple le barrage Solis pour le DR 011. Il est proportionnel à la superficie possédant un droit à l'irrigation dans le module et est calculé sur la base de la demande en eau des cultures traditionnelles (Nous précisons dans la partie 2 la méthode d'estimation de cette demande et les valeurs utilisées par la CNA pour les cultures principales du DR 011). Notons que ce dernier point peut poser des problèmes dans les modules où la diversification des cultures est plus importante (Kloezen et Al., 1997), entraînant une différence entre demande théorique et demande réelle.

Tenant compte de ce volume, et des concessions d'eau aux modules exprimées en part du volume disponible, le comité hydraulique du district qui réunit la SdRL, les modules, un représentant de la CNA et du secrétariat de l'agriculture établit un plan hydraulique qui attribue à chaque module un volume pour l'année.

Une fois les concessions accordées, un marché de l'eau est possible entre les modules. Nous verrons que l'existence de ces marchés a son importance quant à l'amélioration de l'efficacité d'usage de l'eau au sein des associations d'irrigants.

- ***La programmation annuelle des irrigations***

Au début de chaque année agricole, un plan annuel d'irrigation est élaboré par chaque module en fonction des cultures envisagées par les agriculteurs et du volume d'eau qui leur est octroyé par la CNA. Finalement, la SdRL décide, en concertation avec les associations d'usagers et la CNA, du nombre de cycles et d'irrigations dont va bénéficier le district pour l'année agricole à venir.

La distribution et la livraison de l'eau à chaque module s'effectuent par la méthode de « demande hebdomadaire ». Cette dernière consiste à apporter les volumes d'eau nécessaires au sein des modules sur la base de leur besoin pour une période d'une semaine.

b. L'irrigation dans le district O11 et ses différents modules

- **Description générale**

Le DR 011 (Cf. annexe 4) est le plus important des districts d'irrigation du Bajío avec 112 440 hectares, soit un total de 23 486 usagers dont 55% d'ejidataires et 45% de petits propriétaires. L'approvisionnement en eau du district est rendu possible par quatre barrages, dont le plus grand est le barrage Solis, et un réseau de 475 kilomètres de canaux principaux et 1163 de secondaires, permettant l'acheminement de l'eau d'irrigation jusqu'aux 11 modules. A ceci s'ajoutent 1700 puits officiels et particuliers irrigant 35075 ha. On note une forte hétérogénéité : le plus grand, Cortazar, gère l'irrigation de plus de 18 000 hectares, contre 1500 pour Corralejo.

Nous verrons que le paramètre taille possède une influence sur le degré d'organisation et d'avancement des modules d'irrigation, et donc sur l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Ce critère interviendra donc dans le choix de la zone relative à cette étude.

- **Le district 011, au cœur des accords du bassin Lerma-Chapala**

L'existence d'un accord entre les 5 Etats du bassin versant depuis 1989 a été évoquée précédemment. Cet accord vise à établir un programme d'organisation des approvisionnements hydrauliques et d'assainissement du bassin hydraulique.

Ainsi, la répartition des volumes alloués aux différentes « entités », comme par exemple l'Etat du Guanajuato, se base sur la référence du niveau du lac Chapala : sachant qu'un approvisionnement minimal de 2 000 millions de m³ lui est garanti afin d'assurer sa préservation, trois politiques de distribution sont définies : critique, moyenne et abondante.

Ainsi, en 99-2000 et 2000-2001, 1 seule irrigation a été possible dans le district 011, et il n'y a donc pas eu de cycle agricole OI, plus gourmand en eau que le cycle PV, pour les producteurs ayant uniquement accès à l'eau superficielle.

B. Problématique et méthodologie de l'étude

1) Problématique

« Dans un contexte de conflits d'usage au sein du bassin Lerma-Chapala, l'agriculture est présentée comme gaspilleuse d'eau. Comment rendre l'usage de l'eau plus efficient au niveau des zones irriguées ? »

- **La préservation du lac Chapala, enjeu écologique et politique**

Depuis quelques années, le lac Chapala est l'objet d'une crise environnementale inquiétante : En 2002, il atteint son niveau historique le plus bas, avec un remplissage d'à peine 30% de son niveau maximal, et on parle d'un déficit annuel de 600 millions de mètres cubes. Nous avons vu précédemment que le bassin hydrologique du Lerma-Chapala était à la base de l'approvisionnement en eau de la ville de Guadalajara, des industries de la région, et de l'agriculture irriguée, notamment au niveau de l'Etat de Guanajuato.

Les enjeux de la disparition du lac sont multiples. A la fois d'ordre écologique (Sa disparition serait couplée à la perte d'une importante biodiversité), symbolique (Le lac Chapala est le plus grand lac du pays, véritable symbole culturel mexicain), économique (Avec la baisse des activités de tourisme et de pêche qu'il génère) et politique : le problème fait couler beaucoup d'encre. Politique car les conflits d'usage dont il est l'objet entraînent de très sérieuses tensions entre les Etats du Jalisco, où se situe la ville de Guadalajara, et du Guanajuato, défenseur de l'activité des périmètres irrigués du Bajío Guanajuatense.

On notera également que la surexploitation de la ressource en eau au sein du bassin touche également les eaux souterraines, avec un déficit avoisinant les 1300 millions de mètres cubes annuels. Le problème de la ressource en eau du bassin versant Lerma-Chapala est donc double.

- **Une agriculture trop gourmande en eau**

Dans ce contexte de surexploitation de la ressource en eau, l'agriculture est présentée comme coupable : 70% des extractions d'eaux superficielles et souterraines seraient actuellement utilisées à cet usage (Cf. annexe 5).

Certaines études récentes s'accordent en effet à attribuer la cause principale de la réduction du volume du lac, à l'expansion de la superficie irriguée le long du bassin versant, et principalement dans la partie médiane du Lerma, où se situe le DR 011 (Cf. annexe 6).

En plus de cette augmentation de la demande en eau liée à l'expansion des surfaces, d'autres éléments font penser que l'usage agricole de l'eau n'est pas efficient:

- Les cultures traditionnelles de céréales, qui occupent 80% des surfaces cultivées de la zone, montrent une faible productivité par volume d'eau utilisé.

- Les pratiques d'irrigation traditionnelles entraînent une consommation d'eau trop importante sur 80% des surfaces irriguées du bassin. En effet, les lames d'eau brutes (prenant en compte les pertes par conduction et application - Cf. définition Partie 2) appliquées sont très élevées : en moyenne, 8000 mètres cubes d'eau sont consommés pour l'irrigation d'un hectare, face à une norme mondiale de 4000 mètres cubes. (Cf. annexe 7).

Malgré l'accord de distribution mis en place en 1989, le problème persiste : on estime que même en situation « critique », la diminution de l'usage de l'eau pour l'irrigation n'est que de 4%. Ainsi, la CNA a mis en place un plan de gestion intégrée, le Plan Maestro, visant à une rationalisation de la ressource en eau au sein du bassin.

- **Différentes solutions envisagées**

Il est évident que l'eau est un facteur déterminant de la productivité des systèmes agricoles du Bajío. L'agriculture ne doit donc évidemment pas être « privée » de cette ressource, mais certaines mesures peuvent permettre l'amélioration de son utilisation, et font l'objet d'un programme intitulé « Economie d'eau et agriculture durable du bassin Lerma-Chapala », évoqué dans le Plan Maestro. Ainsi, différentes solutions peuvent être envisagées à l'échelle des modules d'irrigation, zone sur laquelle se focalise cette étude :

- Une diversification des systèmes de cultures actuels basés sur les céréales, c'est-à-dire l'instauration d'une préférence pour des cultures moins consommatrices d'eau, mais à rentabilité égale ou supérieure. Ceci implique une reconversion des systèmes de production actuels, et donc de fournir aux agriculteurs l'appui technique et l'accès aux marchés nécessaires. C'est dans cette optique que la SdRL du DR 011 développe actuellement la mise en place de cultures alternatives comme le pois chiche ou le colza.

Dans la même idée, et même si l'on reste dans une culture de céréale, on pourra évoquer la reconversion de l'Etat de Guanajuato initiée lors du cycle OI 2002-2003, avec le passage de la culture de blé à la culture de l'orge, dont la consommation en eau est inférieure, entraînant une diminution des lames d'eau brutes utilisées (Cf. annexe 8).

- Une amélioration de la conduction au niveau des réseaux d'irrigation, afin de limiter les pertes par évaporation et infiltration (Il faut cependant être prudent car les pertes par infiltration au niveau des canaux d'irrigation contribuent de manière significative à la recharge des aquifères). Celle-ci pourrait passer par des améliorations d'ordre technique, comme le revêtement des canaux, ou l'installation de tubes enterrés pour les pompes, modernisation mise en place au niveau du DR 011 dans 2 modules pilotes (Huanimaro et Corralejo). Les tubes à vannettes, système le plus développé en matière de technification à la parcelle donne des résultats également intéressants.

Des contrôles plus assidus, ou une meilleure organisation de la distribution par la mise en place d'un tour d'eau au sein des modules d'irrigation (limitant ainsi le passage de l'eau plusieurs fois dans un même canal), améliorations sociales, pourraient également rendre la distribution plus efficiente.

- Le dernier point concerne l'amélioration de l'application de l'eau à la parcelle. Une plus grande vigilance quant à la conduite d'irrigation serait un premier progrès possible. En effet, il est souvent constaté que les personnes chargées de l'irrigation, propriétaires terriens ou non, ne prêtent que peu d'attention au déroulement et à l'avancée de l'irrigation au sein de leur parcelle, ce qui peut entraîner un gaspillage facilement évitable.

La technification parcellaire de l'irrigation de pompage, avec le goutte-à-goutte ou l'aspersion, permettrait de limiter de manière considérable les pertes liées à une mauvaise

application comme le lessivage ou la percolation profonde. Cependant, ces systèmes sont extrêmement coûteux, et ce n'est donc pas une solution envisageable pour la majorité des agriculteurs de la zone. Ainsi, les surfaces technifiées sont très peu importantes au sein du DR 011 (Cf. annexe 9).

On en arrive donc à ce que nous appellerons les innovations techniques « à bas coût », objet de l'étude : le semis direct sur couvert végétal, et le nivellement laser des terres. Ces innovations ont été développées au sein des modules d'irrigation depuis quelques années, comme nous le verrons ultérieurement, et sont des voix prometteuses dans l'amélioration de l'application de l'eau d'irrigation.

On parle d'innovation à bas coût, car leur mise en place n'entraîne pas des investissements considérables au sein de l'exploitation agricole. Dans le cas du semis direct, il s'agit d'un changement de pratiques culturales passant par l'abandon du labour traditionnel, dont la difficulté réside avant tout dans la maîtrise technique. Le nivellement laser peut se définir comme une modification topographique des terres, permettant en irrigation gravitaire une meilleure uniformité dans l'application.

- **Définitions des objectifs du stage**

Aussi l'objectif de cette étude est d'évaluer dans quelle mesure ces deux innovations ont un impact sur les économies d'eau réalisables au sein d'une association d'irrigants, c'est-à-dire en situation réelle. Pour cela, la recherche s'articulera autour de différents axes sur lesquels se base la méthodologie :

1. L'analyse de la diffusion de ces deux techniques sur la zone d'étude (Le terme diffusion regroupe de façon générale l'importance des surfaces irriguées concernées par ces innovations, les actions menées pour les promouvoir et les obstacles à leur développement). Une attention particulière sera portée au facteur « économie d'eau ».

2. La recherche de données et la construction d'indicateurs les plus pertinents pour permettre une quantification des volumes d'eau « économisables ».

2) Méthodologie

a) Cadre théorique

- *Etude bibliographique* selon 3 thématiques :

- La compréhension du contexte particulier de la gestion de l'irrigation et des systèmes agraires du Bajío, préalable à toute étude portant sur les économies d'eau réalisables par l'agriculture.

- La conduite technique de l'irrigation à la raie et les indicateurs de son efficacité

- Semis direct et nivellement laser : Sur quels facteurs de la conduite de l'irrigation et sur quels pas de temps agissent-ils ?

- *Définition de la zone d'étude, le module d'Irapuato*

Afin de répondre aux objectifs fixés, nous avons fait le choix de l'immersion dans un module d'irrigation, structure intermédiaire entre producteurs et institutions gestionnaires de la ressource en eau, car c'est à ce niveau qu'est générée toute l'information de l'utilisation de l'eau à la parcelle.

De façon plus précise, le choix de la zone d'étude s'est porté sur un module d'irrigation du District d'Irrigation 011. En effet, le DR 011 possède un niveau d'organisation relativement avancé, et l'existence d'une Sdk (Le district voisin 085 n'en possède pas, il n'y a pas vraiment de

coordination au niveau des modules, et donc de la gestion de la ressource en eau) montre, par les actions menées, qu'il existe un réel soucis d'usage efficient de l'eau.

A ceci s'ajoute le fait que l'association ASOSID (*Agriculture Sostenuto a base de Siemens Direct*, cf. Partie 2) soit présente depuis plusieurs années au niveau du district et effectue actuellement un gros travail de promotion et de transfert de technicité pour le semis direct.

L'étude portera donc sur le module d'Irapuato, relativement représentatif de l'état d'avancement moyen du district en ce qui concerne le développement des deux innovations. Sa taille modeste en fait de plus une zone d'étude raisonnable. A ceci s'ajoute une organisation intéressante, la mise en place d'un tour d'eau, avancée sociale intéressante (mais qui ne fera pas l'objet de cette étude).

b) Méthodologie de terrain

1. Connaissance du fonctionnement de l'agriculture irriguée au sein du module d'Irapuato

Objectifs :

- Description des stratégies de production en zone irriguée
- Analyse du fonctionnement de la distribution de l'eau
- Bilan sur l'efficacité de l'usage de l'eau au sein du module
- Mise en évidence des données pertinentes permettant l'évaluation des économies d'eau

Moyens mis en œuvre :

- Observations de terrain, entretiens avec le personnel du module d'irrigation (*canaleros*, gérant, responsable de l'hygrométrie), entretiens avec des agriculteurs
- Analyse des données statistiques du module : contrôle des volumes à la parcelle, en entrée et sortie de module, informations de statistiques agricoles

2. Etude du développement du semis direct et du nivellement laser au sein de l'Etat du Guanajuato, du DR 011 et du module d'Irapuato

Objectif : Définir le contexte d'adoption du semis direct et du nivellement laser selon les points suivants :

- Importance des surfaces relatives à chaque technique au niveau de l'Etat, du district et du module
- Définition des différents types de semis direct et importance relative en cycle OI et PV
- Qui sont les agriculteurs « innovants » ?
- Quels sont les obstacles au transfert de ces techniques ?
- Discussion sur la pertinence du choix de la zone d'étude pour évaluer les économies d'eau

Moyens mis en œuvre :

- Entretiens
- SDA : Evolution des surfaces nivelées au sein de l'Etat du Guanajuato, fonctionnement de l'aide gouvernementale, première typologie des agriculteurs innovants
- ASOSID, SdRL et Module d'Irapuato: Développement du semis direct, obstacles aux transferts de la technique
- CNA : Niveaux d'avancement et de technification des modules du DR 011, impact du nivellement laser sur les lames d'eau d'irrigation
- INIFAP : Définitions des différents types de semis direct, Conditions du transfert de technicité
- Enquêtes (Cf. d.)

c) Méthodologie d'évaluation des économies d'eau

- **Evaluation préalable**

Objectifs : Définition d'un ordre de grandeur des économies d'eau

Discussion sur les méthodes d'évaluation les plus prometteuses

Moyen mis en œuvre : Entretiens (Module Irapuato, SDA, Sdk, ASOSID, INIFAP)

- **Définition de l' « unité de comparaison »**

Tout au long de l'étude, on raisonnera en terme de lame nette d'irrigation, pour s'affranchir du facteur surface. Lorsque cela est possible, l'efficacité d'application sera également calculée (Cf. définition Partie 2).

- **Définition de différentes approches pour la quantification**

Objectif : Quantification des volumes économisés

Moyens mis en œuvre : À la lumière du travail effectué auparavant, plusieurs pistes d'évaluation en conditions réelles se présentent :

- Approche en « **conditions contrôlées** », basée sur des résultats d'expériences réalisées dans le Bajío en station expérimentale.

- Approche **suivi d'une irrigation à la parcelle** : il s'agit d'observer et de comparer, sur parcelle d'agriculteur, le déroulement de deux irrigations en parcelle « traditionnelle » et sur parcelle en semis direct ou nivellement laser.

- Approche **évolution des volumes utilisés à l'échelle du module** : Mettre en relation les surfaces relatives à chaque innovation avec l'évolution des lames d'eau utilisées par le module.

- Approche **comparaison des contrôles à la parcelle des aiguadiers** : Comme nous le verrons dans la partie 3, sont reportés quotidiennement les volumes utilisés pour l'irrigation de chaque parcelle du module. On se propose alors de représenter pour quelques parcelles l'évolution des lames d'eau nettes utilisées avant et après innovation. On effectuera également une comparaison, cette fois sur un même cycle agricole, entre les lames d'eau utilisées d'un groupe de parcelles « avec innovation » et d'un groupe de parcelles « sans innovation ».

- Approche **enquête** : L'évaluation sera cette fois basée sur les témoignages des agriculteurs eux-mêmes.

Cependant, pour diverses raisons, ces différentes méthodes ne sont pas envisageables à la fois pour le semis direct et le nivellement laser.

- **Définition des approches réalisables selon le type d'innovation**

Pour le semis direct :

- Résultats en **conditions contrôlées** : L'INIFAP a réalisé cette année 2 expériences de comparaison, sur blé et orge en OI, des lames d'irrigation en système traditionnel et système semis direct. La description des différents traitements, ainsi que des résultats obtenus fera l'objet de cette partie.

- Approche **suivi d'une irrigation à la parcelle** : A l'aide de l'ingénieur ASOSID du module d'Irapuato, il m'a été possible de réaliser le suivi d'une irrigation sur deux parcelles de producteur « côte à côte », une en semis traditionnelle, et l'autre en semis direct sur résidus de culture. Des analyses d'humidité à deux dates différentes viennent compléter cette comparaison.

- Approche **enquête**

Pour le nivellement laser :

- Approche **suivi d'une irrigation à la parcelle** : Le SDA a déjà effectué ce genre de travail, en analysant l'évolution des consommations en eau de 3 puits irrigant des parcelles nivelées. Ceci servira de base d'évaluation.

- Approche **évolution des volumes utilisés par les modules** : A l'échelle du module, les économies d'eau ne seront décelables que si une majorité des parcelles est nivelée. Les différents entretiens nous ont permis de classer les modules du DR 011 en 2 catégories : les « innovants », et les « non innovants ». Un module « innovant » possèdera une surface nivelée au moins égale à 50% de sa superficie totale. A cette échelle, nous tenterons de voir

- Approche **comparaison des contrôles à la parcelle des canaderos** : Un autre facteur non encore évoqué sera à prendre en compte : la fiabilité des données disponibles au niveau du module.

- Approche **enquête**

d) Méthodologie enquête

Objectifs :

- Compréhension du fonctionnement des systèmes de cultures des agriculteurs innovants
- Identification des motivations des agriculteurs innovants, en relation avec la typologie existante : Importance du facteur « économie d'eau ».
- Mise en évidence les obstacles à la diffusion de ces techniques
- Evolution des pratiques d'irrigation après nivellement laser et semis direct, en fonction du type d'accès à l'eau
- Quantification des volumes économisés

Construction de l'échantillonnage :

Pour satisfaire aux objectifs de l'enquête, il a été nécessaire de « cibler » les agriculteurs enquêtés selon les critères suivants, afin de recouper les diverses situations observables :

- Pour le semis direct : Selon le fait que l'agriculteur réalise un cycle ou deux, son type de gestion des résidus, le nombre d'années d'expériences et la surface concernée
- Nivellement laser : Selon la surface concernée et la date de réalisation du nivellement
- Agriculteurs non innovants : Choix aléatoire

Tout ceci en gardant l'intention de recherche de « contrastes particuliers » concernant les facteurs de variation milieu physique, système de production (type de tenure de la terre, et d'accès à l'eau). Dans la partie 3, nous nous y intéresserons de façon plus précise, en mettant en relation cet échantillonnage avec la typologie réalisée des agriculteurs du module.

Finalement, 17 enquêtes ont été réalisées au sein du module d'Irapuato.

Construction du guide d'entretien : (Cf. Annexe)

Partie générale

La partie générale du questionnaire concerne le système de production dans son ensemble. Il s'agit ici de mettre en évidence l'influence des critères agro-écologiques et socio-économiques sur les prises de décision des agriculteurs. Ainsi, l'hypothèse de départ sera que « les choix techniques ou socioéconomiques que font les agriculteurs ne sont pas le fruit du hasard, mais résultent d'une connaissance du milieu naturel et social, ainsi que d'un savoir-faire empirique. » (Jouve, 1997). L'agriculteur est dans ces conditions amené à réaliser des choix tactiques, relevant de la mise en œuvre des techniques de production (systèmes de culture), à différencier des choix stratégiques qui déterminent les principales orientations à moyen terme du système de production (production et activité, moyens de production) (Capillon, 1993).

Il est ainsi essentiel de comprendre que l'analyse et la compréhension des systèmes de production est un outil primordial pour la diffusion d'innovations.

On peut d'ores et déjà émettre quelques hypothèses sur les facteurs de choix techniques dont dispose l'agriculteur :

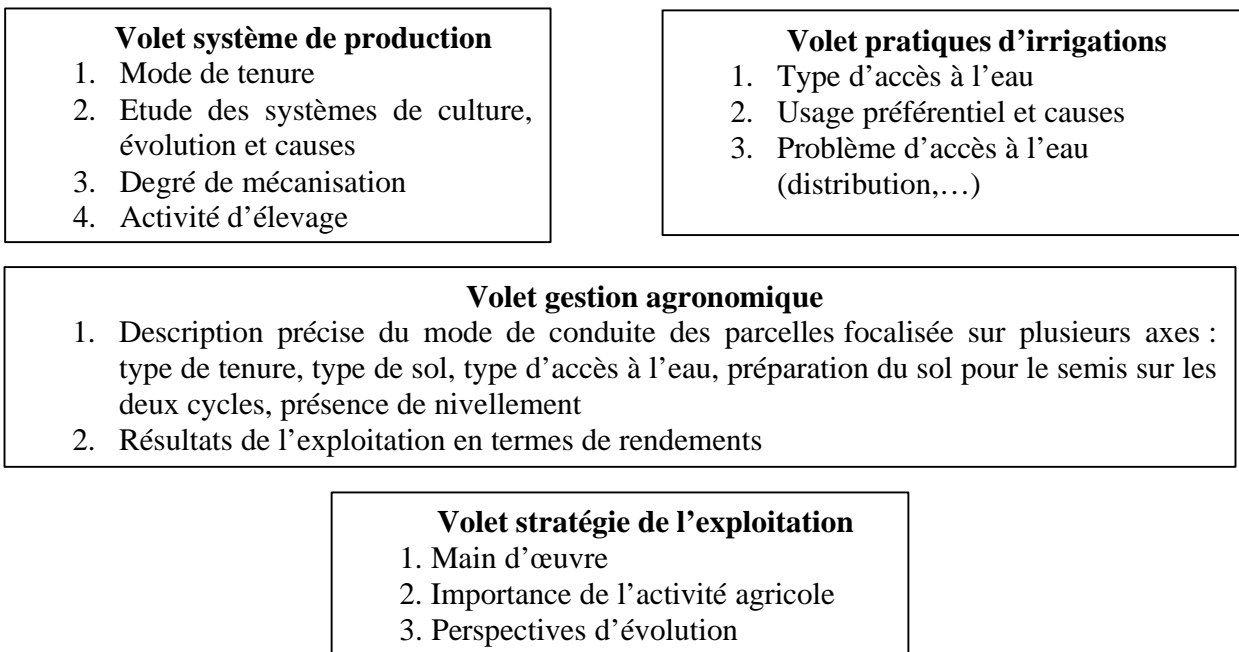
- **Influence des critères agro-écologiques**

- La nature des sols influe sur ces choix techniques
- Le régime climatique, et surtout la pluviométrie, va impliquer des adaptations d'ordre tactique sur le fonctionnement des systèmes de culture

- **Influence des critères socio-économiques**

- Le type d'accès à l'eau s'avère être un facteur déterminant quant aux conduites techniques pratiquées et au choix des espèces cultivées
- L'organisation du parcellaire et le mode de tenure sont deux facteurs pouvant être responsable de variations inter parcelles pour les cultures implantées et les conduites techniques
- La présence ou non d'élevage sur l'exploitation impliquera des modes de gestion des résidus de récolte différents
- les opportunités de commercialisation et la fluctuation des prix influent les types de cultures implantés

Ainsi, cette partie du questionnaire s'articulera de la façon suivante :



Partie semis direct

Cette partie doit répondre aux objectifs décrits plus haut et comporte plusieurs thèmes :

- **Contexte de la conversion au semi direct**, basé sur plusieurs points :

- Surface dédiée au semis direct lors du premier essai et date (Le facteur date a une importance majeure dans le sens où le semis direct induit des effets à court, mais surtout long terme).
- Préparation antérieure de terres (On verra que ce facteur à une influence sur l'évolution des volumes d'eau consommés)
- Motifs de la conversion

- Diffusion du semis direct dans l'entourage de l'agriculteur, au moment du premier essai et actuellement

- **Adoption actuelle**

- Surface actuelle dédiée au semis direct
- Description précise du type de gestion des résidus
- Résolution de l'accès à la semeuse- Accès à des subventions pour l'achat

- **Résultats**

- Expérience de l'agriculteur : bénéfices et difficultés
- Evolution des rendements
- Evolution des pratiques d'irrigation : Nombre d'irrigations et évolution des temps d'irrigation et débit avant et après conversion au semis direct

Partie nivellement laser

- **Conditions de la réalisation**

- Date et surface concernée
- Accès à la subvention gouvernementale

- **Motivations de l'agriculteur**

- **Résultats**

- En terme de rendement
- En terme d'évolution des pratiques d'irrigation : Nombre d'irrigations et évolution des temps d'irrigation et du débit avant et après nivellement

e) Validation des résultats

Objectifs :

- Confrontation des différentes approches
- Pertinence des évaluations réalisées
- Discussion sur les résultats des enquêtes

Moyens mis en œuvre : Entretiens

Partie 2 : Cadre théorique

A. L'irrigation à la raie

1) Principes généraux

a. L'irrigation gravitaire

L'irrigation à la raie entre dans la catégorie des irrigations gravitaires, méthode d'arrosage la plus ancienne au monde. Deux caractéristiques de base définissent l'irrigation gravitaire : D'une part, l'eau est conduite à la parcelle sous l'effet de l'énergie gravitaire, et d'autre part, la surface du terrain fait partie elle-même du système de distribution.

Deux méthodes d'irrigation gravitaire sont à distinguer : l'irrigation par inondation (L'eau recouvre la parcelle pendant un long moment, exemple de la culture du riz) et l'irrigation par écoulement, en planches ou en raies. L'irrigation gravitaire est la plus répandue au niveau mondial, étant utilisée sur 90% des surfaces irriguées.

Toutes les méthodes d'irrigation de surface ont en commun certains principes de base : L'eau est acheminée au point le plus haut de la parcelle par un réseau de canaux principaux émanant des œuvres de têtes, secondaires, et de *regadoras* (Terme utilisée dans le Bajío pour définir les petits canaux qui amènent l'eau directement à la parcelle, et dont la gestion revient au producteur, cf. Partie 3). Sous l'effet de la gravité, elle s'écoule jusqu'au point le plus bas.

Une irrigation gravitaire bien conduite doit permettre une infiltration suffisante de l'eau pour répondre aux besoins de la culture, tout en évitant des pertes trop grande par infiltration profonde ou colature en bout de parcelle.

b. Le système raie du Bajío

Plus de 95% des surfaces agricoles du Bajío Guanajuatense sont irriguées en gravitaire (Lidon B., 2002).

L'irrigation à la raie permet l'humidification du sol au moyen de sillons, espacés généralement de 75 centimètres dans le Bajío. Ainsi, l'eau ruisselle et s'infiltré à travers leur section mouillée de façon verticale et horizontale, puis remonte par capillarité jusqu'aux racines des plantes. La largeur entre sillons est donc directement dépendante de la composante horizontale du sol. Généralement, les sillons ont une forme en V, d'environ 15 centimètres de profondeur et 25 centimètres de largeur sur leur partie supérieure (Cf. annexe 11).

Finalement, l'écoulement libre de l'eau est conditionné par la géométrie superficielle du sol, c'est-à-dire sa forme, sa taille, sa pente et sa rugosité, tandis que l'infiltration dépendra des caractéristiques hydro physiques du sol. Nous verrons que le semis direct et le nivellement laser ont une influence sur ces deux facteurs.

Les **avantages** d'une irrigation à la raie sont nombreux (Tiercelin, 1998):

- Le coût d'investissement est faible, relativement aux systèmes plus technifiés comme le goutte-à-goutte ou l'aspersion.
- Les besoins en énergie sont limités au pompage car il n'y a pas de remise en pression
- Ce système est adapté à l'épandage d'eaux usées (Source d'eau importante du module d'Irapuato).
- Cette méthode convient bien à toutes cultures de céréales et de plantes sarclées.
- Les structures sont durables, simples à mettre en place, à maintenir et à faire fonctionner.
- Elle peut être utilisée sur des types de sols très variables, à l'exception des sols trop sableux, pour lesquels l'infiltration est trop importante.

Mais des **inconvenients** certains font qu'elle n'implique pas toujours un usage efficient de l'eau :

- De nombreuses pertes dans le réseau de canaux existent à tous les niveaux du système
- L'efficacité d'application à la parcelle (Cf. définition plus loin) dépend de nombreux facteurs, dont le savoir-faire de l'agriculteur, qui doit évaluer finement avant chaque irrigation les besoins de la culture et l'état du sol afin de déterminer le couple débit temps d'arrosage le plus adéquat. Ainsi, pour être efficace, l'irrigation doit être conduite de manière minutieuse et suivie régulièrement.
- Ceci implique un besoin de main d'œuvre important, d'une part pour la surveillance, et d'autre part pour le maintien des structures.
- L'uniformité de l'arrosage dépend directement du planage des parcelles, d'où l'importance du nivellement laser.

Nous allons maintenant nous intéresser de façon plus théorique aux différents paramètres entrant en jeu dans l'évaluation de l'efficacité d'une irrigation.

2) Pilotage et conduite de l'irrigation à la raie

a. Pilotage

Le terme « pilotage » regroupe d'une part la détermination de la dose d'irrigation à apporter, et d'autre part, la prise de décision d'irriguer. On comprend que dans le cas d'un accès collectif à la ressource, c'est-à-dire eau de canal ou de puits en société, l'agriculteur n'a pas réellement de liberté dans le choix de la date d'irrigation, du fait de l'existence de périodes bien définies, associées à un tour d'eau plus ou moins fixe. Les quelques éléments présentés ci-dessous correspondent à une méthodologie prévisionnelle utilisée par l'INIFAP et la CNA dans la programmation des irrigations à l'échelle de l'Etat.

La détermination de la dose à apporter prend théoriquement en compte 2 facteurs :

- Les propriétés de texture du sol, conditionnant directement son degré d'humidité avant irrigation.

- Les besoins en eau des cultures sur la période considérée, du semis à la récolte

Les besoins théoriques des cultures en eau peuvent être exprimés de la façon suivante sur la période du cycle cultural :

$$\mathbf{Bth = S (Pe - ETr)}$$

Pe est la précipitation effective, c'est-à-dire la part de l'apport en pluies réellement disponible pour la culture. Plusieurs facteurs entrent en jeu : l'importance des précipitations de façon évidente, la couverture végétale du sol, qui peut en intercepter une partie, le contenu d'humidité du sol (Plus il est important et plus la percolation profonde augmentera), la vitesse d'infiltration, et la topographie du sol, qui peut augmenter le lessivage ou favoriser la rétention sur la superficie. Concrètement, on peut considérer que la pluie effective correspond à la quantité totale de pluie à laquelle on aurait retiré la fraction lessivée, évaporée, et la percolation profonde.

En moyenne, on considère sur les sols du Bajío que la précipitation effective représente 70% de la valeur totale des précipitations (INIFAP, 2004).

L'évapotranspiration réelle prend en compte les données climatiques ainsi que le coefficient cultural de la culture considérée (Celui-ci évoluant au cours du cycle végétatif), selon la méthode d'évaluation de Penmann.

On comprend donc qu'un autre facteur déterminant sera la date de semis : Par exemple, en cycle PV, un semis tardif (15 mai) impliquera une lame d'eau nécessaire beaucoup moins importante.

Le modèle CROPWAT, promu par la FAO, est utilisé par la CNA pour évaluer les demandes en eau des différentes cultures du Bajío. Il est basé sur l'équation décrite ci-dessus. Les valeurs

des demandes en eau des cultures les plus répandues sont présentées en annexe. On ne s'intéressera ici qu'aux valeurs relatives aux cultures céréalières des deux cycles OI et PV, objet réel de l'étude (CNA, 2003).

		Cycle (jours)	Semis	Evapotranspiration réelle Etr mm	Précipitation P mm	Précipitation Effective P e mm	Lame d'eau nécessaire cm
<i>Cycle OI</i>	Blé	130	15-déc	510,59	8,20	8,10	50,25
	Orge	120	15-déc	441,54	7,20	7,10	43,44
<i>Cycle PV</i>	Maïs	135	01-mai	568,81	495,35	303,40	26,54
	Sorgho	135	01-mai	628,94	502,10	309,92	31,90

Fig. – Calcul de la demande d'irrigation des principales céréales (Données CNA)

Les propriétés de texture du sol, permettent de déterminer la dose d'irrigation. Celle-ci est dépend du stade de développement de la culture. Pour le blé et l'orge, on considère qu'avant floraison, on déclenche une irrigation lorsque le sol contient environ 30% d'humidité, après floraison, 45%.

Ainsi, la dose objectif ou lame d'irrigation requise LR (en cm) par irrigation est caractérisée de la façon suivante : $LR = (H_{cc} - H_r) * d_a * z_c$

Avec H_{cc} = Humidité à la capacité au champ pondérale (%)

H_r = Humidité résiduelle du sol avant irrigation (%)

d_a = Densité apparente (t/m³)

z_c = Profondeur radriculaire effective (cm) (= Profondeur au-dessus de laquelle la plante peut extraire l'eau dans le sol). Celle-ci est directement liée au coefficient cultural.

Le pilotage de l'irrigation nécessite enfin de définir un intervalle entre irrigation : On utilise les valeurs « théoriques » d'humidité résiduelle avant irrigation pour chaque période du cycle végétatif, pour calculer une valeur de lame d'irrigation requise de façon théorique (LR_t).

L'intervalle entre irrigation est alors défini ainsi :

$$I = (E_{Tr} - P_e) / LR_t \text{ sur la période considérée}$$

Le nombre d'irrigations, ainsi que la dose à appliquer par irrigation, résulte ainsi de cette démarche. L'annexe 11 présente les valeurs de ce paramètre pour les cultures de grains du Bajío.

Ces différentes notions sont essentielles dans la définition et l'évaluation de l'efficience de l'irrigation à l'échelle de la parcelle.

b. La conduite

Ce terme fait allusion aux décisions « techniques » que doit prendre un agriculteur désirant irriguer : choix du système raies ou planches, surface des unités d'irrigation (Définies comme une surface dont l'irrigation débute en même temps)

L'application correcte de l'irrigation nécessite de définir de façon précise les paramètres impliqués dans le processus que sont les unités d'application et les paramètres débit et temps, ci dans le but d'apporter la dose adéquate sans qu'il n'existe de pertes par percolation ou ruissellement trop importantes.

Les 4 phases de l'irrigation à la raie

Une irrigation à la raie peut se diviser dans le temps en quatre phases (Tiercelin, 1998):

- L'**avancement**, phase comprise entre le moment où l'eau commence à s'écouler, et le moment où elle atteint l'extrémité avale de la raie.
- L'**entretien**, à partir du moment où l'avancement est terminé, et jusqu'à l'instant où l'alimentation est coupée.
- La **déplétion** à partir de la coupure de l'entrée d'eau, jusqu'à l'instant où l'eau commence à disparaître en tête de parcelle.
- La **récession**, temps nécessaire à la disparition de l'eau dans la raie.

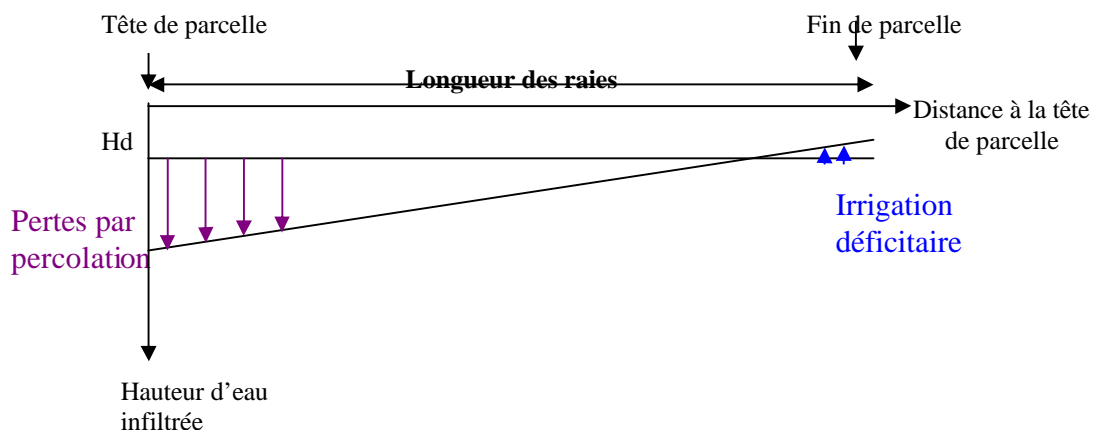
En théorie, l'entretien est nul, car l'agriculteur bouche les raies pour couper l'alimentation en amont lorsqu'il observe l'arrivée d'eau en bout de parcelle. Les observations de terrain nous ont montré qu'il existe de façon évidente un décalage entre ces deux phénomènes, d'une part dû à la négligence, et d'autre part pour raison logistique : la coupure de l'eau ne peut évidemment pas être instantanée.

La gestion du couple débit-temps, paramètres essentiels

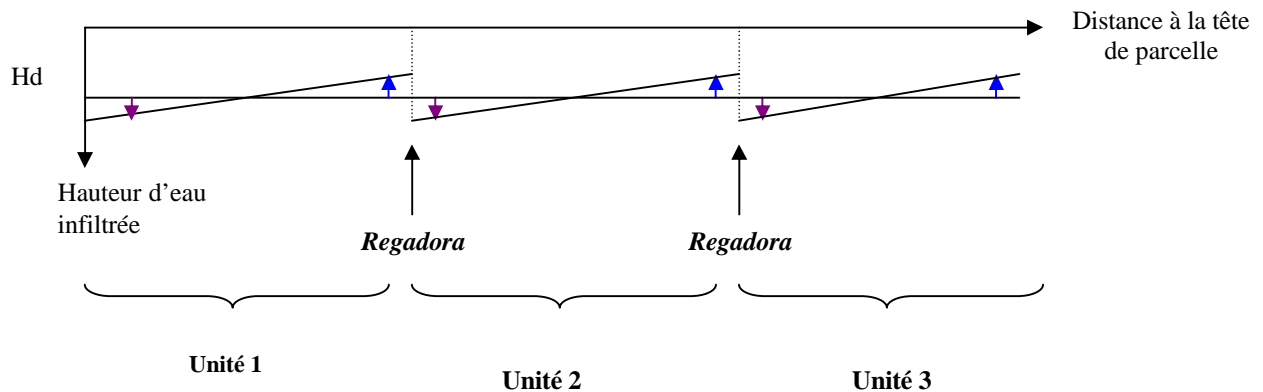
Une bonne gestion du couple temps débit permet d'améliorer considérablement l'efficacité d'une irrigation à la raie. Ainsi, l'agriculteur dispose de 4 leviers techniques de conduite :

- La diminution du front d'irrigation, c'est-à-dire de la largeur des unités d'irrigation, permet d'augmenter le débit en tête de parcelle. Ainsi, les pertes par percolation sont moins importantes, car l'eau s'écoule plus rapidement. Dans les vertisols du Bajío, ce phénomène est particulièrement vrai, du fait de la présence de fentes de retrait très importantes. Cependant, la profondeur d'infiltration sera alors moins importante, et la fréquence d'irrigation devra être augmentée.
- La diminution de la longueur des parcelles permet également de limiter les pertes par percolation en tête de parcelle.

En effet, on pourrait représenter de façon simplifiée la courbe d'infiltration de l'eau en fonction de la distance à la tête de la parcelle :



Soit en diminuant la longueur des unités d'irrigation :



On comprend bien qu'ainsi, les pertes en tête de parcelle sont considérablement réduites. Cependant, la division des unités d'irrigation exige une main d'œuvre importante, notamment pour creuser les *regadoras*.

- L'augmentation de la fréquence d'irrigation permet d'irriguer sur des sols moins secs, et la phase d'avancement sera alors plus rapide. Ceci aura également un effet sur la percolation profonde associée aux fentes de retrait des vertisols du Bajío. Cependant, comme on l'a dit précédemment, un accès collectif à l'eau ne permet aucune liberté de ce genre.
- L'irrigation à débit variable, et plus précisément à double débit (le plus courant) consiste à diviser la conduite en 2 phases : Tout d'abord, l'irrigation se fait à fort débit, pour humidifier superficiellement le profil de sol. Ensuite, le débit est réduit, ce qui permet un apport plus faible car les pertes sont réduites. Ce type de conduite est cependant peu répandu, car nécessite de pouvoir modifier le débit à l'aide de vannes adaptées, ce qui implique un investissement important.

L'étude de l'agriculture irriguée du module d'Irapuato (Partie 3) précisera les modes de gestion de ces paramètres les plus courants, et leurs impacts sur l'efficacité de l'irrigation.

3) Caractérisation des efficacités

Nous en arrivons à la notion d'efficacité de l'irrigation. En système gravitaire, celle-ci peut être décomposée en deux efficacités, en référence à deux échelles distinctes du système : l'échelle du réseau d'irrigation, à savoir œuvres de têtes et irrigation et canaux, et l'échelle de la parcelle agricole elle-même. C'est sur cette dernière que sera focalisée plus particulièrement cette étude.

L'efficacité de conduction

Elle est définie ainsi :

$$E_c (\%) = \frac{\text{Volume d'eau appliquée à la parcelle (ou Volume net) (m}^3\text{)}}{\text{Volume d'eau dérivé de la source d'approvisionnement du système (œuvre de tête dans notre cas) (ou Volume brut) (m}^3\text{)}}$$

Ou en raisonnant en terme de lame d'eau :

$$E_c (\%) = \frac{\text{Lame d'eau appliquée à la parcelle (ou lame nette d'irrigation) (cm)}}{\text{Lame nette dérivée de l'œuvre de tête ou lame brute (cm)}}$$

Les termes de lame nette et brute sont ceux utilisés au niveau du DR 011, et l'on se basera également sur cette terminologie par la suite.

On comprend donc que la valeur de l'efficacité de conduction dépend principalement de deux facteurs :

- D'une part, des pertes intrinsèques au réseau, par infiltration et infiltration au niveau des canaux d'irrigation. Le facteur infiltration est minimisé dans le cas de canaux revêtus. Cependant, dans le DR 011, une faible proportion des canaux est revêtue, ce qui entraîne des pertes importantes par infiltration. (Cependant, comme nous l'avons déjà dit, l'infiltration est bénéfique dans le sens où elle a un rôle majeur dans la recharge des aquifères). Nous verrons que certains modules ont pour préoccupation l'organisation d'un tour d'eau, avec pour objectif d'irriguer en même temps les parcelles voisines, et ceci afin d'éviter que les pertes évoquées ci-dessus soient trop importantes.
- D'autre part, des pertes que nous qualifierons d'« opération ». Celles-ci prennent en compte les usages illégaux de l'eau ou les erreurs de programmation.

Dans le DR 011, on estime que l'efficacité de conduction est d'environ 67% (CNA, 2000).

L'efficacité d'application

On peut la définir ainsi :

Ea (%) = Volume réellement disponible pour la plante (m3) / Volume d'eau appliqué à la parcelle (ou volume net) (m3) pour une irrigation

Ou sur un cycle agricole :

Ea (%) = Demande en eau de la culture (m3) / Volume d'eau appliqué à la parcelle

Ea (%) = lame nécessaire (cm) / lame d'eau appliquée à la parcelle (ou lame nette) (cm)

Par volume d'eau disponible pour la plante, on entend la quantité d'eau infiltrée dans l'épaisseur de sol exploré par les racines : celui-ci correspond à la dose objectif d'irrigation décrite plus haut.

Les besoins de la culture sont définis d'après la méthodologie décrite dans la partie pilotage de l'irrigation.

A nouveau, l'efficacité d'application peut être décomposée en plusieurs facteurs :

- Un facteur « **uniformité d'irrigation** », défini comme le rapport entre la hauteur moyenne d'eau infiltrée sur le quart de la surface la moins bien arrosée et la hauteur moyenne d'eau sur l'ensemble du champ.
- Un facteur lié à la **conduite** elle-même, qui prend en compte la bonne ou mauvaise gestion du couple débit temps, le suivi du déroulement de l'irrigation, ...

L'efficacité actuelle de l'irrigation à la raie a été évaluée à 40 ou 50% dans la zone d'intervention du projet ASOSID (Cf. Partie 2 II.), ce qui la place dans la gamme des efficacités faibles à la parcelle (pouvant aller jusqu'à 70%).

L'efficacité globale

Enfin, l'efficacité globale est le produit de l'efficacité de conduction et d'application. On obtient ainsi une valeur d'environ 35% sur le DR 011. Ceci signifie que 65% de l'eau est perdue dans le réseau, ainsi qu'au moment de l'application à la parcelle.

Quelques éléments d'explication de la faible efficacité...

Dans le Bajío, certains éléments font que les agriculteurs n'ont pas forcément le souci d'économiser l'eau, et donc d'améliorer l'efficacité d'application :

- Le **mode de paiement de l'eau à l'hectare** pour les producteurs ayant un accès à l'eau par puits de collectifs ou eau de canal, est le plus répandu et n'incite pas à faire des économies d'eau. Nous verrons que l'objectif de la SdRL est actuellement de mettre en place une dotation volumétrique, de façon à obliger les agriculteurs à être plus attentifs aux quantités d'eau qu'ils consomment. 2 modules pilotes, Huanimaro et Corralejo ont ainsi instauré une redevance volumétrique depuis 2 ans.
- Le **système des tours d'eau** (en cas d'accès à l'eau collectif) plus ou moins fixes entraîne chez les agriculteurs une stratégie d'assurance qui se traduit par de lourdes lames d'eau appliquées à chaque irrigation et des pertes conduisant aux efficacités déjà citées.
- Pour les possesseurs de puits, les coûts d'extraction de l'eau souterraine sont actuellement relativement faibles.
- Un manque évident de « **conscience environnementale** » : Au Mexique, la prise de conscience de l'importance de la préservation des ressources naturelles est relativement récent (Communication personnelle, Ingénieur ASOSID Module Irapuato). Ainsi, les agriculteurs ne possèdent pas de réelle « culture de l'eau », et sont donc quelques peu négligents dans l'utilisation de cette ressource. Cependant, les mentalités changent au sein des nouvelles générations.

Nous allons maintenant aborder la thématique « innovations », par une première approche théorique visant à mettre en évidence dans quelle mesure ces innovations peuvent permettre des économies d'eau à la parcelle: un premier aspect s'intéressera aux facteurs de la conduite de l'irrigation sur lesquels elles ont une influence ; dans un deuxième temps, on parlera de « contexte d'adoption », en établissant un état des lieux de ce qui est fait actuellement à différentes échelles (Etat et District DR 011) pour inciter les agriculteurs à « innover ».

B. Semis direct et nivellement laser : 2 innovations en matière d'économies d'eau

1) Le semis direct sur couvert végétal (SCV)

a. Définitions et principes

Les systèmes de culture utilisant une couverture végétale permanente et le non travail du sol existent de manière traditionnelle dans certains pays de la zone intertropicale, essentiellement dans les parties les plus humides où il est difficile de réaliser un brûlis après la défriche. C'est le cas de l'association maïs-mucuna au Honduras (Triomphe, 1996), du système frijol-tapado en Amérique centrale. De nombreux programmes de recherche-développement, nationaux et internationaux, ont depuis quelques décennies œuvré à la diffusion de ces systèmes de culture avec semis direct dans toute la zone intertropicale, mais sous des formes « modernes » (implantation d'une couverture végétale spécifique, gestion des adventices avec des herbicides, utilisation de nouveaux outils pour semer mécaniquement). Les pays ciblés sont notamment ceux où il y a eu diffusion massive du labour mécanique (savanes d'Afrique de l'Ouest par exemple). C'est le cas aussi dans certains pays d'Amérique latine, et notamment le Mexique où à partir des années 60 la diffusion des outils à disques a été massive. Les effets les plus notables de ces transferts sur les écosystèmes locaux furent la dégradation et l'érosion des sols, ainsi qu'une forte baisse de leur activité biologique. (Séguy, Bouzinac, 2001).

Actuellement, les pays où le semis direct est le plus développé sont les Etats-Unis, puis le Brésil et l'Argentine, avec, respectivement, des surfaces en semis direct de 19,3, 11,2 et 7,3 millions d'hectares. Le Mexique arrive loin derrière avec seulement 500 000 hectares (Cf. annexe 13).

Ces systèmes de culture, malgré certaines variations de par le monde, répondent tous aux trois critères suivants (Raunet, Séguy, Fovet Rabots, 1998):

- Remaniement minimal du sol à l'endroit du semis
- Semis direct dans un couvert végétal (mort ou vivant) formant par décomposition le mulch
- Jamais de sol nu, et **pas de brûlis des résidus de récolte** ou de la jachère

❖ **Les atouts du semis direct touchent deux aspects des systèmes de production :**

Bénéfices de type agronomique et environnemental

Propriétés physiques et chimiques du sol

- Constitution d'une protection contre les différentes formes de dégradation physique du sol (érosion hydrique et éolienne). La simplification du travail du sol limite également la compaction du sol, et évite la formation d'une semelle de labour imperméable, très préjudiciable en zone irriguée (Crovetto Lamarca, 2000).
- Limitation de la baisse du taux de matière organique du sol, inévitable après une mise en culture. Cet effet sur la matière organique se traduit notamment par une amélioration de la structure du sol, favorisant ainsi l'infiltration et le stockage de l'eau, l'enracinement des cultures et leur alimentation hydrique (Séguy, Bouzinac, Maronezzi, 2001).
- Accélération du recyclage d'éléments minéraux et de leur concentration dans les horizons de surface du sol (Triomphe, 1999). Les systèmes de semis direct sur couvert végétal maintiennent ainsi un niveau de fertilité important du sol, ce qui peut constituer une alternative économiquement viable à la déforestation. Cette stabilité de la fertilité minérale peut également se traduire par ailleurs par une baisse de la consommation de fertilisants.

Biomasse

- Stimulation de l'activité biologique, grâce au mulch et au non travail du sol : forte densité d'insectes, vers, larves (Raunet, Séguy, Fovet Rabot, 1998).
- Limitation par la couverture végétale des attaques de certains ravageurs et maladies, et rôle important dans la maîtrise des adventices par l'ombrage, l'humidité, l'allélopathie (De Raissac et al., cité par Dounias, 2001).
- Augmentation de la biomasse produite et l'accumulation de matière organique, et ainsi rôle positif sur la fixation du CO₂ à l'échelle planétaire.

Bilan hydrique

- **Création par la couverture végétale d'un microclimat régulateur face aux aléas climatiques: réduction de l'évaporation, des amplitudes de température et d'hygrométrie et donc amélioration du bilan hydrique** (Raunet, Séguy, Fovet Rabots, 1998). Finalement, ceci se traduit par une quantité d'eau apportée à la parcelle moins importante, et donc une amélioration de l'efficacité d'application, objet de cette étude.
- **Augmentation de l'infiltration de l'eau dans le sol**, du fait de l'amélioration de sa structure, mentionnée plus haut.

Bénéfices économiques

- Réduction des coûts de production par diminution des charges de mécanisation, de combustible, de fertilisation et d'irrigation.
- Diminution du temps de travail et donc du besoin de main d'œuvre

Enfin, ceci se traduit par une augmentation de la productivité, à court et long terme (Cf. ci-dessous).

Court ou long terme ?

En effet, il est nécessaire de bien préciser que les effets du semis direct sont plus ou moins immédiats :

Ainsi, l'effet « amélioration du sol d'un point de vue chimique et structural », à savoir l'augmentation du taux de matière organique ou d'éléments minéraux, ou l'infiltration de l'eau sera un processus progressif, dont les résultats ne se feront vraiment sentir qu'au bout de 4 à dix cycles agricoles (Vergez, 2003).

A cela s'ajoute des effets « immédiats », comme la diminution des coûts de production, ou l'influence de la simple présence du couvert végétal, avec la diminution de l'érosion éolienne et hydrique (également limitée par un sol plus structuré, effet à long terme) et la limitation de l'évaporation, et donc une meilleure conservation de l'humidité.

❖ Mais les systèmes semis direct sous couvert végétal peuvent également comporter des inconvénients agronomiques...

- L'utilisation de labours chimiques (utilisation d'herbicides), même avec des applications ciblées, peut finalement aboutir à une augmentation de la consommation d'herbicides par rapport à un système conventionnel (Barriuso et al., 1994, cité par Dounias, 2001). Le non travail du sol et la présence d'une couverture végétale peuvent également contribuer à la prolifération d'adventices, parfois même plus vivaces (Clavier, 1998, cité par Dounias, 2001).
- La couverture végétale constitue un écran lors des traitements phytosanitaires, et l'humidité qu'elle offre un refuge pour certains parasites.
- Lors d'irrigation à la raie, les résidus de récolte peuvent encombrer les raies et ralentir l'avancement de l'eau (Cf. Partie 4).

Conclusion interaction semis direct sur couvert végétal / irrigation à la raie

La présence d'un couvert végétal à la surface du sol agit de façon complexe sur l'état hydrique du sol, et son effet est finalement double :

Une modification du bilan hydrique de l'interface sol / plante / atmosphère implique une augmentation de l'humidité du sol, par limitation de l'évaporation. On comprend que pour les sols du Bajío, cela sera un facteur important, car les fentes de retrait se reformeront moins vite. Cela permettra donc la diminution de la dose-objectif définie plus haut. Les doses à apporter sur un cycle de culture seront donc moins importantes.

Un effet à plus long terme est l'amélioration de la structure du sol : l'infiltration est alors favorisée et les pertes en colature et par percolation seront donc moins importantes. L'efficacité d'application sera ainsi améliorée. A cela s'oppose le brûlis des résidus, entraînant un durcissement du sol, et une diminution de l'infiltration jusqu'à la rendre parfois nul.

b. Le semis direct, fondement du projet ASOSID

Dans la partie 1, nous avons mis en évidence au sein du Bajío l'existence d'une agriculture en double crise : crise écologique, dont les manifestations majeures sont l'appauvrissement de la ressource en eau, superficielle et souterraine, la dégradation physique et chimique des sols et une

pollution due à l'application excessive d'intrants chimiques. Crise économique, par une non rentabilité des exploitations basées principalement sur la culture des céréales. A la vue de cette problématique, on peut déjà identifier les principaux axes d'intérêt d'une diffusion généralisée du semis direct sur couvert végétal dans le Bajío Guanajuatense :

D'un point de vue agronomique et environnemental

- Réduire la consommation d'eau d'irrigation.
- Eviter la dégradation des sols et améliorer leur structure, afin de limiter la dessiccation et la formation de fentes de retrait propres aux vertisols.
- Réduire la consommation de fertilisants afin d'éviter la pollution des nappes par ruissellement et lessivage.

D'un point de vue économique

Réduire les coûts de production (machine, fertilisation, irrigation et produits phytosanitaires), afin de permettre aux producteurs du Bajío de rester compétitifs dans un marché des produits agricoles de plus en plus globalisé avec des prix de vente tirés vers le bas.

C'est dans ce contexte que s'est installé le projet de recherche-développement ASOSID (*Agricultura SOstenible a base de SIembra Directa*, Agriculture Durable à base de Semis Direct). Ainsi, son objectif est la promotion des systèmes de culture durable, au travers de la diffusion massive du semis direct sur couvert végétal.

La diffusion dans le milieu agricole du semis direct avec paillis de résidus a été entreprise depuis la fin des années 80 par le gouvernement mexicain. Le modèle diffusé à l'époque consistait en un non travail du sol, et un semis direct en cycle PV sur une couverture intégrale de résidus de blé ou d'orge. Des paquets techniques ont été définis et des crédits mis en place pour l'achat de semoirs, mais les recommandations étaient sophistiquées et trop coûteuses pour être adoptées par des agriculteurs ne disposant pas d'un large capital. De même le suivi en terme d'assistance technique a été totalement négligé, et les recommandations initiales ont été largement adaptées comme nous le verrons par la suite. Les résultats techniques obtenus ont d'autre part été très variables en fonction du climat, du sol et des systèmes de production impliqués. Ainsi, dans l'Etat du Guanajuato, le semis direct n'est adopté de façon significative que depuis les années 1990, uniquement pour les zones irriguées et pour les céréales de PV.

C'est donc dans ce cadre qu'en 1994, l'INIFAP, le CIMMYT, le CIRAD ont lancé un projet de diffusion de cette technique ; il passe par une recherche fine sur les mécanismes modifiés par la mise en place du semis direct avec paillis, l'adaptation aux conditions rencontrées et l'analyse des processus d'adoption par les producteurs. En 2000, le projet ASOSID est lancé, projet multi institutionnel, avec la participation du gouvernement au travers du SDA (qui a lancé un programme d'assistance technique en fournissant au projet 8 techniciens), d'organismes de recherche avec l'INIFAP et anciennement le CIRAD, des associations d'usagers (SdRL et modules d'irrigation), de l'entreprise Monsanto, avec comme toile de fond l'utilisation de méthodes participatives et de diffusion horizontale de producteur à producteur.

Depuis 2003, une réorientation des objectifs a lieu : la recherche théorique est délaissée au profit du transfert de technicité (Entretien Ingénieur ASOSID, SdRL). Dans le DR 011, 1 technicien ASOSID est détaché par module, avec pour objectif la vulgarisation de la technique,

passant par la mise en place de 500 ha de semis direct à but commercial, de 2 parcelles côte à côte de comparaison semis direct / semis traditionnel. Ils ont en plus un rôle d'assistance technique au producteur, englobant également la vente de semences et de fertilisants, ainsi que la gestion des aides gouvernementales (Achat de matériel, Procampo,...).

c. Bilan sur le développement du semis direct : au niveau de l'Etat, au niveau du DR 011

• Les différents types de préparation du sol et leur diffusion

Diagnostic des pratiques culturales sur l'Etat du Guanajuato

En 2000, ASOSID réalise un diagnostic général de l'adoption du semis direct, par zone agro-écologique, associée à une typologie d'agriculteurs.

Différents types de préparation du sol et modes de gestion des résidus sont mis en évidence par ce diagnostic, ainsi que leur importance relative en cycle OI et PV.

Pour la **préparation du sol**, 3 classes sont définies :

- 1 labour suivi de plusieurs passages de cover-crop = LT (*Labranza Tradicional* : labour traditionnel)
- Passages de cover-crop seuls : LR (*Labranza Reducida* : labour réduit)
- Aucune préparation : SD (*Siembra Directa* : Semis Direct)

Pour la **gestion des résidus**, 2 classes ont été mises en évidence :

- Résidus exportés totalement ou en majorité, ou brûlés = SR (*Sin residuos*)
- Préparation réduite du sol avec résidus exportés = CR (*Con residuos*)

Les résultats suivants ont été obtenus, en terme d'adoption des différentes techniques et en excluant les zones de temporal. Les graphiques correspondant seront présentés en annexe 14. On ne présentera ici que les conclusions majeures.

En cycle PV

- L'incorporation des résidus, par le labour traditionnel ou réduit, est une pratique relativement importante, avec 32% des surfaces rencontrées.
- Le non travail du sol représente ainsi la pratique la plus importante du cycle PV. Par contre, sur 75% des surfaces en semis direct, les résidus sont exportés ou brûlés.
- Le système de semis direct avec présence de résidus, objet de l'étude, semble relativement peu adopté, avec seulement 11% des surfaces.

En cycle OI

Pour le cycle OI, il est plus juste de présenter les résultats en termes de nombre d'agriculteurs, car sur l'échantillon interrogé, un agriculteur possédait 100 ha de semis direct avec résidus, ce qui faussait totalement les proportions en terme de surface.

- Le système traditionnel reste largement majoritaire (60 % des cas).
- Le semis direct sur résidus de culture est très peu répandu (7% des cas).

Ce diagnostic permet de mettre en évidence 2 faits majeurs : Tout d'abord, il existe une forte différence d'adoption des pratiques de semis direct entre les 2 cycles cultureux. Enfin, même si le non labour est fortement développé, une majorité des producteurs ne laissent pas les résidus de culture sur la parcelle. Or, nous avons vu que d'un point de vue agronomique, le paillis permet la conservation du sol et de l'eau. Le facteur devenir des résidus devra être sérieusement pris en

compte dans l'évaluation des économies d'eau. Nous essaierons d'expliquer par la suite ces deux points.

Importance du semis direct sur le DR 011

Ces données sont issues d'un entretien avec l'Ingénieur ASOSID en charge du DR 011.

Au niveau du DR 011, on retrouve les mêmes résultats, mais avec des proportions légèrement différentes. (En effet, les choses ont quelque peu évolué depuis 2000, date du diagnostic). Les données ci-dessous peuvent être prises comme des évaluations de moyenne sur le DR.

Pour le **cycle PV**, le semis direct est le mode de préparation très largement majoritaire, avec 80 à 90% des surfaces. Cependant, parmi les surfaces en semis direct, 80% brûlent les résidus. Finalement, seulement 15 à 20% des surfaces sont à proprement parler cultivées en système semis direct sur couvert végétal.

En **cycle OI**, seulement 10% des surfaces seraient en semis direct. La gestion des résidus de culture antérieure se fait majoritairement selon 2 modalités : la moitié des surfaces sont brûlés avant le semis, et pour l'autre moitié, il y a bottelage des pailles. Le bottelage implique que 30 à 50% des résidus sont laissés sur la parcelle. Une proportion négligeable conserve un couvert végétal de 100%.

Finalement, cette étude nous permet de différencier les types de préparation qui nous intéresseront dans l'évaluation des économies d'eau : le **semis traditionnel**, incluant également le labour réduit, , le **semis direct sur résidus brûlés** (qui comme nous l'avons vu, constitue réellement le mode de semis « traditionnel » en cycle PV, le **semis direct sur résidus exportés** (avec en moyenne 30 à 50 % des résidus conservés sur la parcelle), et le **semis direct sur 100% des résidus**, système agronomiquement le plus intéressant.

Globalement, tous les modules du district en sont à cet état d'avancement. Cependant, on pourra citer le cas du module d'Abasolo, le plus grand du district, dont la taille semble être un handicap pour la diffusion de cette technique. La situation de Valle de Santiago est aussi particulière : celui-ci est situé près d'un Centre de Développement Technologique, Villa Diego, qui a été le premier à réaliser une capacitation en matière de semis direct. Ce module est donc plus avancé.

- **Les conditions d'adoption du semis direct sur résidus**

L'étude du contexte d'adoption du semis direct, et principalement d'un point de vue socio-économique implique de se poser les questions suivantes :

- ❖ A l'échelle de l'exploitation agricole, quelle est la compatibilité avec les autres activités en terme d'organisation du travail, de gestion de la trésorerie ?
- ❖ Pour ce qui est des équipements et des intrants spécifiques, existe-t-il des fournisseurs sur place, et le crédit est-il disponible ?
- ❖ Quelles destinations, quels marchés pour les résidus de culture ?
- ❖ Comment faire prendre conscience aux agriculteurs de la nécessité d'une gestion « durable » des ressources naturelles ?
- ❖ Comment faire passer l'innovation du stade expérimental à l'adoption par les agriculteurs ? Quelle vulgarisation pour les agriculteurs ?
- ❖ Quel est l'appui des différents partenaires des agriculteurs ?

Premiers éléments de réponses...

Ces données sont issues principalement d'entretien avec les ingénieurs ASOSID du DR 011 et du module d'Irapuato.

L'action de transfert de technique aux producteurs, objet de l'association ASOSID, a déjà été évoquée plus haut.

Chaveau (1997) souligne que les décisions des agriculteurs ne sont jamais mécaniquement déterminées. En particulier, « l'activité de production agricole n'est qu'un élément dans un ensemble plus large de contraintes et objectifs, ensemble qui intègre la reproduction économique et sociale ». On comprend donc que la diffusion d'une quelconque technique ne sera possible que si celle-ci entre dans une logique de rentabilité de l'exploitation agricole : on parle de rationalité paysanne.

En ce sens, le semis direct prend tout son intérêt, car comme nous l'avons déjà dit, il s'accompagne d'une baisse notable et immédiate des coûts de production. De façon simplifiée, le semis en direct permet une baisse des coûts de 1500 pesos / ha, en comptant 500 pesos pour le labour, 250 par passage de cover-crop, avec généralement 2 passages et 250 pesos pour le nivellement traditionnel (à ne pas confondre avec le nivellement laser, voir plus loin), et 250 pesos pour le retraçage des raies (Cf. annexe 15). Ceci est significatif d'après les valeurs des coûts de production pour les 4 cultures de céréales en système de labour traditionnel, présentées ci-dessous :

	Culture	Coûts de production (pesos / ha)
Cycle OI	Blé	6391,5
	Orge	6000,4
Cycle PV	Maïs	6025
	Sorgho	5514

Coûts de production en système traditionnel (CNA, 2003)

D'un point de vue économique, l'adoption du semis direct semble être une pratique « rationnelle ».

Au niveau de l'organisation du calendrier de travail de l'exploitation, le semis direct joue un rôle important. Nous mettrons en évidence l'existence d'un goulot d'étranglement dans l'intercycle PV / OI, et ceci est un facteur considérable d'incitation au non-labour, et donc au semis direct pendant cette période.

Cependant, d'autres aspects, pouvant parfois être des obstacles, sont à prendre en compte :

- ❖ L'acquisition d'équipement parfois coûteux en agriculture motorisée, et achat d'intrants spécifiques. La disponibilité de financement et de crédit est un facteur important quant à la capacité d'investissement des exploitations.

Le paramètre accès à l'équipement pourrait également être un élément d'explication à la différence d'adoption de la technique entre les 2 cycles de cultures. En effet, la sèmeuse en direct blé-orge coûte beaucoup plus cher que celle pour maïs-sorgho. De plus, la biomasse produite en cycle PV est très importante, et la gestion des résidus de maïs-sorgho serait difficile, à moins que le producteur possède une moissonneuse récente, capable de broyer les pailles et de les distribuer de façon homogène sur la parcelle (Entretien Ingénieurs ASOSID DR 011 et Irapuato).

- ❖ Il peut y avoir compétition avec d'autres usages possibles des résidus au sein d'une même exploitation, notamment leur utilisation pour l'alimentation animale (Rachou, 1997, cité par Dounias, 2001).

Ainsi, les résidus de culture de PV, ont une utilité réelle : soit l'exploitation possède un élevage, et les résidus servent à l'alimentation animale, soit les résidus peuvent être vendus. Ceci implique que les agriculteurs ne trouvent pas leur avantage à laisser les résidus de culture sur la parcelle, avant de semer les céréales OI.

Par contre, les résidus de blé-orge n'ont que peu de valeur, et les producteurs n'ont donc pas de scrupules à vouloir les brûler. Cependant, une voie de commercialisation est en train d'être développée dans le Bajío, de façon à donner une valeur marchande à ces résidus : il s'agit de la culture du champignon, qui se fait sur pailles de blé ou d'orge (Entretien Ingénieurs ASOSID DR 011 et Irapuato).

❖ Comme nous l'avons dit plus haut, peu de « conscience environnemental » existe actuellement chez les agriculteurs du Bajío, et on peut donc penser que l'avantage économique sera leur motivation première de conversion au semis direct. Les bénéfices de conservation du sol et de l'eau ne seront pas une motivation première, d'autant que les producteurs raisonnent plus « à court terme ».

Nous essaierons de préciser ces différents facteurs dans la partie 3, où sont présentés partiellement les résultats des enquêtes.

2) Le nivellement laser

a. Principe du nivellement laser

- *Nivellement et uniformité d'irrigation*

Le nivellement laser d'un terrain consiste en la modification du relief de sa superficie, selon une pente définie au préalable. C'est une véritable modification topographique du terrain, dont le but est de distribuer de manière uniforme l'eau d'irrigation, et de favoriser le drainage de l'eau superficiel en excès. En effet, comme nous l'avons dit précédemment, un bon planage des parcelles est un facteur essentiel au bon déroulement d'une irrigation, et surtout dans un système raies. En effet, sur une surface non égalisée, l'eau stagne dans les parties basses, créant des zones inondées où les plantes ne peuvent germer, et le rendement s'en trouve affecté. Sans aller jusque là, une distribution non uniforme de l'eau entraînera une croissance inégale de la culture. Ainsi, le nivellement permet d'augmenter le coefficient « uniformité d'irrigation » de l'efficacité d'application de l'irrigation (Cf. 1).

Le nivellement laser ne doit pas être confondu avec ce que les producteurs du Bajío dénomment nivellement ou nivellement traditionnel, et qui consiste simplement en un lissage du micro relief des parcelles, en vue d'aplanir grossièrement les parcelles. Généralement, ce type de nivellement est réalisé avant le traçage des raies d'irrigation.

Avant de réaliser un nivellement laser, il est primordial d'étudier le profil du sol, pour déterminer l'amplitude de terre arable qui peut-être retirée, sans affecter la production de la récolte. Ceci n'est cependant pas un problème dans le Bajío, puisque les sols sont très profonds, et les pentes relativement faibles. Le planage des parcelles doit être basé sur une reconnaissance topographique très précise, de façon à définir la pente adéquate d'un point de vue technique et économique (car comme nous le verrons, le prix d'un nivellement dépend de la quantité de terre déplacée), et parvenir à un équilibre entre excavation et remplissage.

NB : On comprend donc que contrairement au semis direct, l'effet du nivellement laser sur l'efficacité d'irrigation est relativement simple, et surtout immédiat. Il faut quand même préciser que l'économie d'eau réalisable dépendra directement de l'état du terrain avant nivellement : Par exemple, sur un terrain très peu uniforme avant nivellement, l'économie réalisée grâce au

nivellement sera bien supérieure à celle réalisée sur un terrain relativement homogène à la base. Il faudra donc être prudent quant aux interprétations que nous pourrions donner de certains résultats.

De plus, on a à faire à une innovation dont le seul requis est l'investissement d'argent. En aucun cas on ne parlera de transfert de technologie ou de modification du système de production. Cette innovation n'implique l'agriculteur que dans la prise de décision de réaliser ou non ce travail. Dans le cas du semis direct, la prise de décision de conversion s'accompagne d'une capacitation, nécessaire à la maîtrise technique.

- **Déroulement du nivellement**

Un agriculteur souhaitant réaliser un nivellement laser doit s'adresser directement à une entreprise. L'entreprise doit alors réaliser les démarches nécessaires à l'obtention de la subvention (Cf. b.) pour le producteur-client.

Celle-ci doit également lui présenter plusieurs alternatives de mouvement de terres. Dans 90% des cas, la pente naturelle est choisie : c'est l'option la plus économique, car comme nous le verrons plus loin, cela nécessite le moins de mouvement de terres. Cependant, il est conseillé aux agriculteurs d'augmenter la pente jusqu'à 0,08 ou 0,15%, sachant que la pente naturelle du Bajío est d'environ 0,03%, et ceci afin d'augmenter l'efficacité d'irrigation. Il est ainsi clair que la pente du nivellement aura une influence sur la rapidité et l'uniformité d'écoulement de l'eau sur la parcelle, et donc sur l'amélioration de l'efficacité d'application.

Un producteur peut exiger des travaux comme le changement du sens d'irrigation, la fusion de parcelles, ou la réalisation de terrasses. Par exemple, un changement de pente reviendrait à déplacer 800 mètres cubes de terres, alors qu'un mouvement moyen dans le Bajío est de 250 à 300 mètres cubes.

L'entreprise calcule alors à l'aide d'un logiciel spécialisé les volumes de terre qui vont être déplacés, en vue d'un plan prévisionnel.

Une vérification de la qualité du nivellement est réalisée a posteriori : Grâce à un GPS, les coordonnées du centroïde sont relevées, ainsi que les données d'élévation de plusieurs points sélectionnés. Le critère pour définir si le travail a été bien réalisé est : la somme des excavations et remplissages doit être inférieure ou égale à 50 mètres cubes.

Les demandes de subvention sont faites après la réalisation des travaux de nivellement.

Un nivellement se fait environ tous les 3 ans pour les céréales et le maraîchage. Pour la luzerne, cela peut aller jusqu'à une durée de 4 ans.

- **Qui réalise le nivellement ?**

En 1997, il existait 7 entreprises réalisant le nivellement dans l'Etat du Guanajuato, comptant en tout 17 machines. Une seule appartenait alors à une association de producteurs, le module d'irrigation de Valle de Santiago.

Le graphique présenté dans l'annexe montre l'évolution du nombre d'entreprises et d'équipements disponibles sur l'Etat.

On note qu'en 2001, 34 entreprises de nivellement existaient, avec en tout 67 équipements (Cf. annexe 16). Parmi celles-ci, 13 appartiennent à des associations de producteurs, dont 10 sont des modules d'irrigation. En tout, environ 40 équipements de nivellement appartiennent à des modules, 25 à des particuliers fonctionnant comme prestataire de service. A ceci s'ajoute les particuliers non enregistrés dans le programme du gouvernement, et possédant environ 20 équipements.

b. Un programme gouvernemental pour la diffusion du nivellement laser

Les informations ci-dessous sont issues d'entretiens avec l'Ingénieur Munoz Hernandez, responsable du programme « Nivellement laser des terres » au SDA.

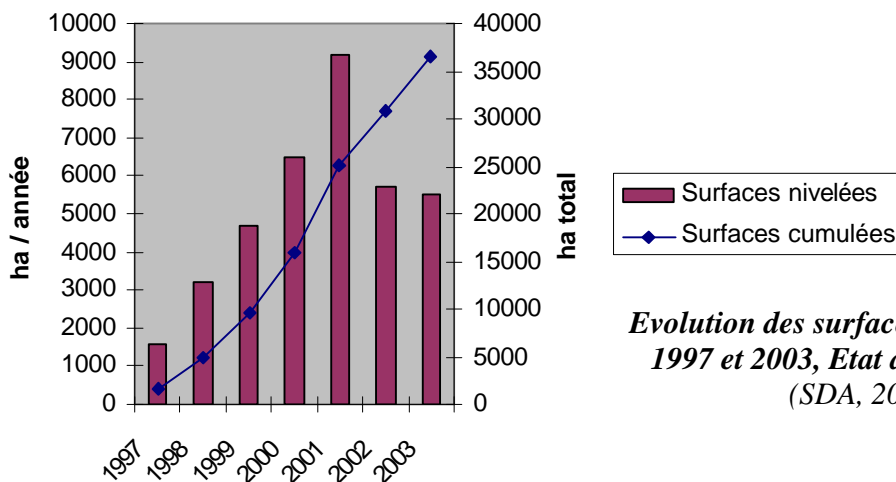
Le gouvernement de l'Etat de Guanajuato, en relation avec la problématique du manque d'eau, a mis en place plusieurs programmes visant à l'amélioration de l'efficacité de l'usage de l'eau d'irrigation.

Certains programmes se dédient plus particulièrement à l'efficacité de conduction : Le programme « Modernisation des districts d'irrigation » s'intéresse par exemple à la technification des modules, comme c'est le cas de Huanimaro et Corralejo, par l'installation de stations de pompes et de tubes enterrés sur une partie de la surface irriguée. On trouve également les programmes « Usage de l'infrastructure hydraulique » ou « Ferti-irrigation », associé à l'installation de tubes à vannettes.

Dans le cadre de l'amélioration de l'efficacité d'application ont été développés les programmes « Assistance à l'irrigation », proposant une assistance technique aux producteurs, ou « Nivellement des terres par rayon laser ».

• Diffusion du programme

Ce programme de nivellement des terres a débuté en 1997. Il consiste en une subvention aux producteurs à hauteur de 800 pesos par hectare de terre nivelée. En 1997, seuls 1566 hectares ont été nivelés dans l'Etat, sur une superficie irriguée de 400 000 hectares. 36 000 hectares sont actuellement recensés comme étant nivelés, soit un peu moins de 10% des surfaces. La figure suivante montre l'évolution étatique des surfaces nivelées entre 1997 et 2003.



Evolution des surfaces nivelées entre 1997 et 2003, Etat de Guanajuato (SDA, 2004)

• Fonctionnement de l'aide

Comme il a été dit plus haut, l'aide du gouvernement s'élève à 800 pesos / hectares. Le prix du nivellement est proportionnel à la surface nivelée, mais dépend aussi de la forme de la parcelle et de la quantité de terre mise en mouvement. En moyenne, un nivellement coûte 2500 pesos par hectare, de 250 mètres cubes à 300 mètres cubes déplacés. Au dessus de cette limite, il faut ajouter 8,5 pesos / mètre cube de terre supplémentaire.

Ainsi, il est clair que l'option la plus économique est le nivellement à pente naturelle.

Les prix peuvent de plus varier d'une entreprise à l'autre. Par exemple, un nivellement coûte 2800 pesos au module d'Irapuato, car les machines sont moins performantes que dans d'autres

modules comme Valle de Santiago. En effet, les équipements d'Irapuato ne permettent pas de niveler plus de 2 à 2,5 hectares par jours, contre 4 à 4,5 pour Valle de Santiago.

Depuis 2002, l'aide vient aux 2/3 du gouvernement de l'Etat, le reste étant couvert par le gouvernement fédéral. Cette subvention est valable jusqu'à une surface de 20 hectares nivelés. De 20 à 40 hectares nivelés, la subvention passe à 400 pesos. Le gouvernement a instauré ce palier dans un souci d'équité, en vue de ne pas trop avantager les grands propriétaires terriens.

Ainsi, un producteur voulant faire niveler 25 hectares touchera un soutien de 16 000 pesos pour les 20 premiers hectares, et de 2 000 pour les 5 suivants, soit en tout 18 000 pesos.

Cette aide va augmenter au mois de juillet 2004, pour passer à 1000 pesos par hectare.

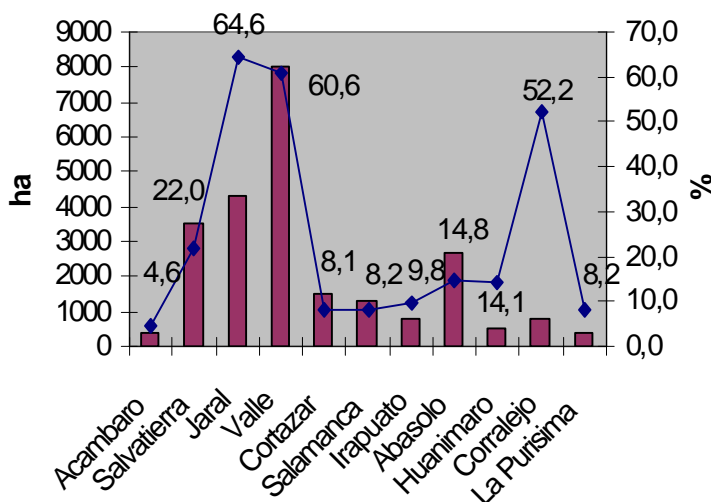
- **Importance relative de l'aide**

Il faut préciser que tous les agriculteurs réalisant un nivellement ne font pas appel à l'aide. C'est le cas de privés possédant leur propre équipement, et qui jouent le rôle de prestataire de service pour d'autres. Globalement, 70% des producteurs qui réalisent un nivellement sont demandeurs de l'aide. Pour préciser cela, nous avons effectué une comparaison entre les surfaces bénéficiaires de l'aide (Données SDA), et les surfaces réellement nivelées (Données modules), pour 3 modules qui auront leur importance dans la suite de l'étude : Irapuato, Huanimaro et Valle de Santiago. A Irapuato, 70% des agriculteurs demandent l'aide, contre 50% pour Valle et 100% à Huanimaro (Cf. annexe 18). La faible proportion de nivellement subventionné à Valle est certainement représentative du degré d'avancement de ce module : en effet, le nivellement existe depuis 1997, contre 1999 et 2000 à Irapuato et Huanimaro. Un plus grand nombre d'agriculteurs a ainsi dû juger utile d'investir dans une niveleuse. Le module d'Irapuato, comme nous le verrons, se caractérise par la présence d'une proportion importante de grandes exploitations à logique capitaliste : ici aussi, certains privés doivent réaliser le nivellement. A Huanimaro, une dominance de l'agriculture plus familiale, avec des surfaces cultivées par producteurs parmi les plus faibles du district et une forte proportion d'ejiditaires (72% des producteurs sont des ejiditaires, pour un peu plus de la moitié à Valle (Gillet, Ollivier, 2002) pourraient être une explication à ce taux très élevé de demandes d'aide.

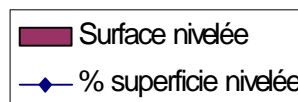
c. Le nivellement laser dans le DR 011

- ❖ **Importance des surfaces nivelées par module**

Le graphique suivant représente les surfaces nivelées par module, et leur proportion par rapport à la surface totale. Ces chiffres ont été fournis par les modules eux-mêmes à la CNA, et prennent donc en compte les surfaces nivelées avec et sans aide de l'Etat.



Importance des surfaces nivelées par module (CNA, 2004)



Globalement, 21% des terres du DR 011 sont nivelées. Cependant, il existe une différence notable entre modules, au sein même du DR. 3 modules sont particulièrement avancés, avec plus de 50% des surfaces nivelées : Jaral, Valle de Santiago et Corralejo. On peut doré et déjà émettre l'hypothèse que pour ces modules, les économies d'eau réalisées à la parcelle grâce au nivellement ont eu de véritables répercussions sur les volumes utilisés globalement sur tout le module.

Comment expliquer cette différence ?

- Tout d'abord, comme il a été dit auparavant, le nivellement est arrivé à des dates différentes dans les modules. Valle de Santiago a commencé à niveler ses terres de façon précoce, en 1997, et étant donné que l'augmentation des surfaces nivelées est régulière d'année en année, ceci pourrait être un élément d'explication.

- La taille du module serait également un facteur à prendre en compte : Jaral et surtout Corralejo sont des modules « petits », avec respectivement 6 700 hectares et 1565, et montrent un pourcentage de surface nivelé très important. A l'opposé, les modules de Salamanca et Cortazar parmi les plus grands du district avec 16 000 et 18 300 hectares, ne possèdent que 8% de surfaces nivelées. Au cours des différents entretiens réalisés, il a souvent été fait allusion au fait qu'un module de grande taille aura toujours plus de mal à imposer une innovation.

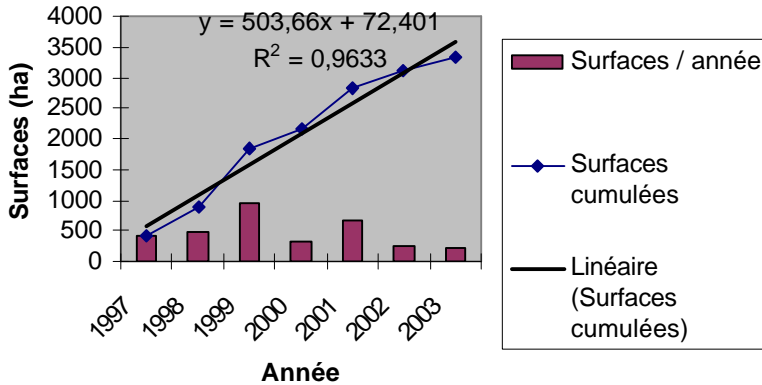
- Ensuite, le nombre d'équipements disponibles au sein du module, ainsi que leur capacité pourrait expliquer ces différences : Par exemple, Valle de Santiago possède 6 équipements, capables de niveler 4 à 4,5 hectares par jour, alors que le module d'Irapuato ne possède que deux équipements d'une capacité de 2 à 2,5 hectares journaliers.

- Enfin, et c'est certainement un des facteurs les plus importants, le niveau d'avancement du module conditionne évidemment sa capacité à « innover ». A ce titre, le module de Valle de Santiago est souvent cité en exemple pour avoir réussi à développer différents services à l'intention des usagers. Une entreprise a été créée parallèlement au module et vend des engrais, semences et intrants ; depuis 2002, un silo permet également d'organiser la vente des grains achetés aux agriculteurs. Ce haut niveau d'organisation fait de ce module un module que nous qualifierons d'« innovateur » par la suite.

Ainsi, tous les modules proposent un service de nivellement, grâce à des équipements dont ils sont propriétaires. L'argent rapporté par le nivellement va donc directement au module. Le directeur de celui-ci applique ainsi les prix qu'il souhaite: Le prix est souvent fixé en fonction des capacités des équipements ; le nivellement a ainsi un prix relativement élevé (2800 pesos) à Irapuato, comparé à une moyenne de 2500 pesos / ha.

❖ Evolution des surfaces nivelées par module

Nous représentons ci-dessous l'évolution des surfaces par année sur l'exemple du module de Valle de Santiago :

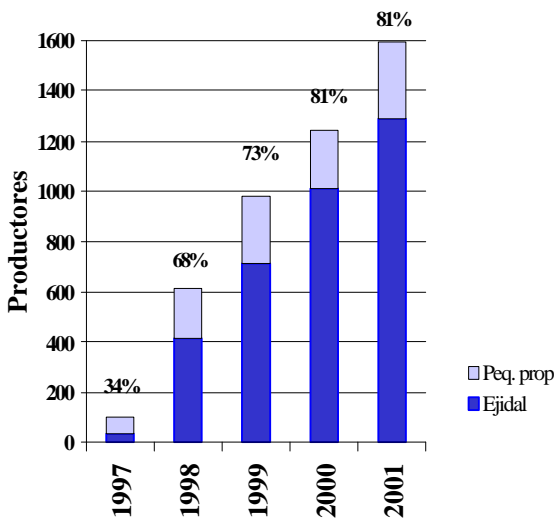


Evolution des surfaces nivelées, Module Valle de Santiago (SDA, 2004)

L'évolution est ainsi linéaire : Depuis son introduction, le nivellement connaît un développement régulier d'année en année. Des résultats similaires sont obtenus pour les modules d'Irapuato et Huanimaro (Cf. annexe 18). Cette tendance est globale sur le DR 011, et on peut donc prévoir pour l'avenir une évolution semblable, entraînant une généralisation des surfaces nivelées.

❖ Quels agriculteurs réalisent le nivellement, et pour quel culture ?

Le graphique suivant représente la proportion relative ejidataires / petits propriétaires réalisant le nivellement.



Répartition de l'aide Petits propriétaires / Ejidataires (Source SDA - 2001)

80% des producteurs bénéficiant de l'aide sont des ejidataires. Ce chiffre est à prendre avec précaution, car on peut penser que les petits propriétaires ont d'avantage la possibilité d'acheter un équipement propre. Le SDA considère actuellement qu'environ 70% des producteurs réalisant le nivellement sont des ejidataires.

Cette tendance s'est inversée depuis l'arrivée du nivellement dans l'Etat du Guanajuato. Au départ, seuls petits propriétaires, toujours plus aptes aux changements et à l'innovation, semblaient être plus intéressés. Comme le montre le graphique des surfaces nivelées par demandeur d'aide présenté en annexe 20, le nivellement concerne de plus en plus des exploitations de petites tailles. Actuellement, la surface nivelée par producteurs est de 4,1 hectares, contre 15 en 1997.

De plus, 70% des surfaces nivelées sont cultivées en céréales. Il faut dire que ce système est largement majoritaire, comme nous l'avons vu. Cependant, il faut noter que certaines entreprises d'exportation spécialisée dans les cultures maraîchères préfèrent les productions venant de terres nivelées, pour des raisons d'homogénéité de la récolte. On pourra également citer le cas du DR

085, qui a pris la décision d'obliger les agriculteurs semant de la luzerne à niveler leurs terres, et ceci à des fins d'économies d'eau (La luzerne étant réputée gourmande en eau).

❖ **Premiers éléments sur le contexte d'adoption**

L'Ingénieur Muñoz du SDA distingue différents types de motivations, en fonction du type d'accès à l'eau :

- ❖ Pour les agriculteurs possédant un puits, le nivellement serait réalisé tout d'abord pour économiser de l'énergie, puis ensuite l'eau, qu'ils utiliseraient alors pour irriguer d'autres parcelles (à l'échelle de l'exploitation agricole, il n'y aurait donc pas réellement d'économies).
- ❖ Au niveau des modules d'irrigation, la diffusion du nivellement laser prendrait son intérêt dans la réduction des volumes utilisés (Nous verrons plus tard pourquoi ceci peut leur être avantageux).

Cependant, les agriculteurs irrigant avec de l'eau superficiel, entre autre à cause de la redevance à l'hectare, n'ont pas cette conscience de l'économie d'eau.

Finalement, l'objectif commun à tous les agriculteurs est l'amélioration de la récolte, car le nivellement empêche la formation de trous d'eau.

Partie 3 : Fonctionnement de l'agriculture irriguée et conditions d'adoption des innovations dans le module d'Irapuato

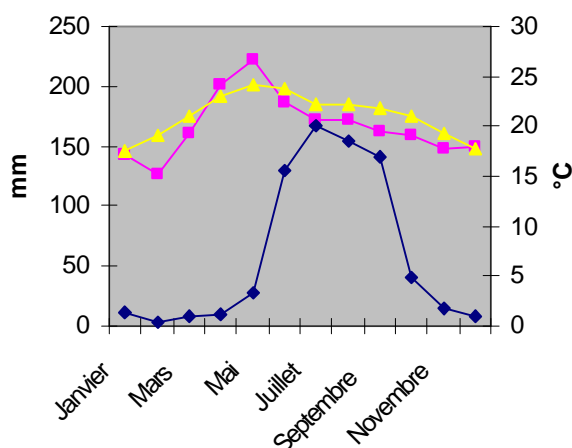
A. Caractérisation de l'agriculture irriguée

1) Présentation générale du module d'Irapuato

Le module d'Irapuato est situé en 7ème position dans le district 011. Il est précédé en amont par le module de Salamanca. En aval, on trouve le module d'Abasolo. C'est un module de taille modeste : sa superficie est de 8311ha, il occupe ainsi la 7ème place du district en terme de superficie (Cf. annexe 20). Ce module est divisé en 8 sections, chacune approvisionnée en eau par son propre canal sub-latéral.

Milieu agro-écologique

La figure présente les données climatiques relevées dans la station du module d'Irapuato. Le total annuel des précipitations est de 715, 8 mm, concentré à 80% en saison humide, pour une évapotranspiration de 2003,30mm.



Précipitation et température, Module d'Irapuato, Etat de Guanajuato (INIFAP, 2003)

Les sols du module d'Irapuato sont en grande majorité des vertisols très propice à l'agriculture, dont la texture moyenne est la suivante : 45% d'argile, 30% de sable et 25% de limons. Cependant, il existe des variations ponctuelles: on trouve également, sur une partie du module, des terrains plus sableux (surtout en section 19), ou plus limoneux en abord des ruisseaux (Module Irapuato, 2004). La nature des terrains aura évidemment une grande influence sur le potentiel de rendement, ainsi que sur les pratiques d'irrigation: les sols plus sableux demanderont la plupart du temps une irrigation de plus qu'un terrain argileux, qui conserve mieux l'humidité (Cf. annexe 21).

Type de tenure de terre

Le module d'Irapuato se caractérise par une proportion moyenne de petits propriétaires, en comparaison avec les autres module du district : En effet, comme le montre le tableau suivant, les petits propriétaires représentent plus de 21,3% des usagers, pour une moyenne de 22,2% sur le

district. La taille moyenne d'une parcelle en petite propriété est d'environ 14 hectares, contre 4 ha pour les ejidataires : la différence est donc bien marquée entre ces deux types d'agriculteurs.

Finalement, 50% des surfaces cultivées le sont par des petits propriétaires (Source Module d'Irapuato). On a donc une minorité de petits propriétaires cultivant une majorité de terres. La surface moyenne cultivée par producteur est la plus élevée du district, soit 6,65 hectares.

	Ejidataires	Petits propriétaires	Total module
% Nombre total	78,7	21,3	100
% Surface totale	50	50	100
Surface moyenne par type	4	14	6,65

***Type de tenure de la terre
du module d'Irapuato (Module
d'Irapuato, 2004)***

Le module d'Irapuato possède un nombre très élevé d'exploitations de grandes tailles à logique capitaliste. Nous précisons ceci lors de l'étude plus approfondie de la typologie des arrosants de l'association.

Approvisionnement en eau

En ce qui concerne l'eau superficielle, le module d'Irapuato est desservi par le grand canal Coria qui traverse plusieurs modules du district. Celui-ci débute au niveau du barrage de dérivation Lomo de Toro situé à la sortie du module de Salvatierra et parcourt près de 100 kilomètres jusqu'au module d'Abasolo. Le canal Coria est la seule source d'approvisionnement en eau de surface pour le module d'Irapuato. Il irrigue directement la partie Est du module et donne naissance au canal Irapuato, d'une longueur de 26 kilomètres de long, et qui alimente la partie Ouest grâce à huit canaux sub-latéraux (Cf. annexe 22). En tout, 4340 hectares sont irrigués selon cette modalité. On compte également 3990 hectares ayant accès par pompage à l'eau souterraine, grâce à 168 puits particuliers, en société ou non, et 16 puits officiels. Nous nous intéresserons de façon plus précise au fonctionnement de l'irrigation dans la suite de cette partie.

2) Les systèmes de cultures : clés de fonctionnement

L'étude des systèmes de culture est, comme nous l'avons déjà dit, un préalable nécessaire à l'analyse des possibilités de diffusion des innovations. Cependant, n'étant pas l'objet direct de cette étude, on se contentera ici d'évoquer et expliquer quelques grandes tendances ressortant du travail de terrain réalisé au sein du module d'Irapuato.

Sébillote donne en 1990 la définition suivante : « *Un système de culture est un ensemble de modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique* ». Chaque système de culture se définit donc par la nature de ses cultures et leur ordre de succession, ainsi que par les itinéraires techniques appliqués à ces cultures.

Au niveau des itinéraires techniques, nous nous intéresserons qu'à la préparation du sol et à la gestion des résidus, traités en B.

Principales espèces cultivées et importance dans les rotations

Les proportions relatives à chaque culture ont été calculées sur la base du rapport de coûts et de production (*Informe de costos y produccion*) disponible dans le module d'Irapuato. A la fin de chaque cycle, ce rapport doit être transmis par le module à la CNA. Il fait état des surfaces récoltées et valeur de la production par type d'accès à l'eau (Eau de gravité, puits officiel et puits particulier) et par type de producteur (Ejidataire ou petit propriétaire). Sont considérés ci-dessus les surfaces récoltées réellement en céréales, cultures maraîchères et pérennes pour le cycle 2002-2003.

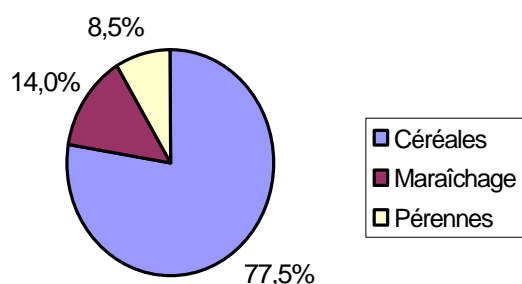
Cycle OI

Comme nous l'avons vu, le cycle OI est caractérisé par sa dépendance envers l'eau d'irrigation, mais également par la présence de températures froides en son début. Ces températures sont essentiellement à l'origine du choix du blé et de l'orge, cultures ayant des besoins en froid essentiellement en début de cycle végétatif.

Le cycle OI est également marqué par l'implantation d'une culture pérenne, la luzerne. Celle-ci possède un cycle de 2 à 3 ans, et une coupe est réalisée tous les 6 mois.

Le maraîchage est également possible pendant ce cycle, avec la culture de légumes sous contrat, comme par exemple le brocoli, ou la culture de fraise, très importante dans la région.

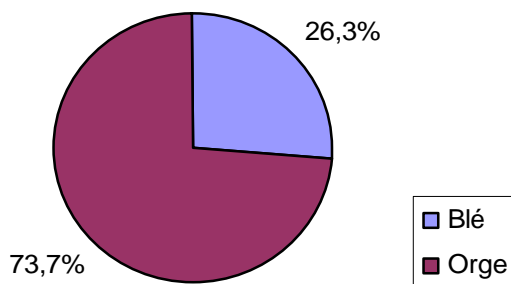
Finalement, au sein du module d'Irapuato, on trouve la répartition suivante :



Répartition des cultures, cycle OI
(Source Modulo Irapuato, Cycle 2002-2003)

Les céréales sont donc les cultures dominantes, avec presque 80% des surfaces. Le maraîchage possède une place importante, représentant près de 15% des surfaces cultivées. Une petite partie des terres, 8,5% sont dédiées à la culture de pérennes.

De plus, une très nette domination de l'orge s'observe :



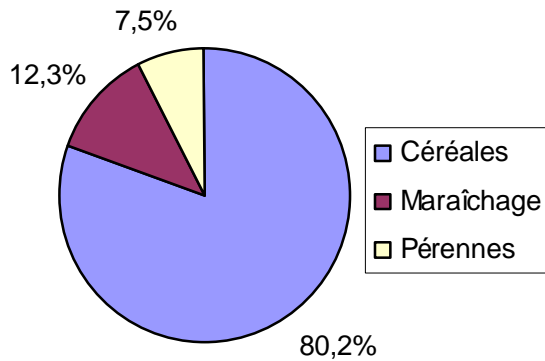
Répartition des cultures céréalières, cycle OI
(Source Modulo Irapuato, cycle 2003-2004)

Des différences majeures entre ces deux cultures peuvent expliquer la domination de l'orge :

- ❖ Le cycle de l'orge est d'environ 15 jours plus court que celui du blé. Cela se traduit d'une part par une récolte plus précoce, ce qui, comme nous le verrons, est un avantage non négligeable, du fait du peu de temps disponible entre les cycles OI et PV. D'autre part par l'apport d'une irrigation supplémentaire sera nécessaire au blé.
- ❖ Comme nous l'avons déjà dit, l'Etat du Guanajuato a fourni des contrats aux producteurs avec une entreprise de brasserie. Le prix est ainsi sécurisé, contrairement à ceux du blé, car fixé avant le semis.

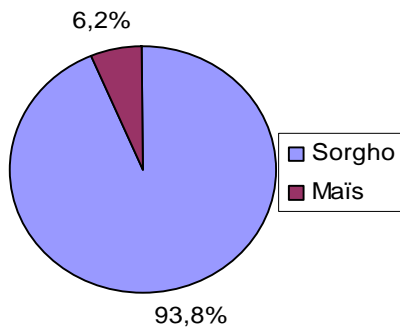
Cycle PV

Tout comme en OI, les céréales dominent le cycle de saison sèche. Ainsi, le sorgho et le maïs sont les deux principales cultures implantées, grâce aux conditions de températures et de luminosité particulièrement favorables à leur développement. On retrouve également une petite proportion de maraîchage, et bien évidemment des surfaces en cultures pérennes.



Répartition des cultures, cycle PV
(Source Modulo Irapuato, Cycle 2002-2003)

On note également une nette dominance du sorgho par rapport au maïs, en ce qui concerne les céréales.



Répartition des cultures céréalières, cycle PV
(Source Module Irapuato, cycle 2003-2004)

Des différences « physiologiques » expliquent une certaine préférence pour le sorgho :

- ❖ D'une part, le sorgho développe un réseau racinaire plus profond que le maïs et résiste donc mieux à la sécheresse. Cette résistance est amplifiée par la présence d'un système d'enroulement des feuilles en situation de chaleur intense, limitant ainsi la transpiration. Le maïs est également plus sensible aux excès d'humidité que le sorgho.
- ❖ Le sorgho est également plus résistant aux attaques de parasites, particulièrement par des vers de la tige.

Ainsi, le sorgho est une culture que l'on pourra qualifier de « moins risquée », même si le maïs offre généralement une rentabilité plus élevée.

Mais le facteur principal à l'implantation massive de sorgho reste l'importance de l'élevage intensif présent autour de la ville d'Irapuato, entraînant une forte demande en cultures fourragères.

Maraîchage et cultures pérennes

Les principales productions maraîchères sont la fraise, l'asperge, l'ail et le brocoli (Cf. annexe 23). La culture de la fraise a d'ailleurs fait la réputation de la ville d'Irapuato, connue comme la capitale mexicaine de la fraise.

On note depuis quelques années une tendance à la hausse des surfaces en maraîchage. Les agriculteurs qui le peuvent tentent ainsi un changement du système traditionnel de culture de

céréales, en perte de rentabilité. Cependant, tous les agriculteurs ne peuvent effectuer cette reconversion. En effet, la production de fruits et légumes nécessite un accès à l'eau souterraine, les entreprises d'exportation achetant ces productions sous contrat exigeant une irrigation par puits, c'est-à-dire avec une eau supposée plus propre. Le rapport de coût et production du module d'Irapuato montre clairement que la totalité des surfaces récoltées en maraîchage le sont par des producteurs ayant accès à l'eau de puits, officiel ou particulier.

Malgré tout, le maraîchage reste dans tous les cas une stratégie risquée, car les prix fluctuent beaucoup sur le marché.

Les cultures pérennes prennent en compte la luzerne et les prairies. Tout comme le sorgho, la culture de la luzerne s'est développée en même temps que les élevages intensifs proches de la ville.

Nous ne nous intéresserons plus, dans la suite de l'étude des systèmes de cultures, qu'aux céréales des cycles OI et PV.

b. Conclusions

• *Choix des cultures et stratégies de production*

- Les différents facteurs poussant les producteurs à choisir une culture plutôt qu'une autre ont été évoqués lors de la description des systèmes de cultures. On notera l'importance du facteur accès à l'eau : choix de l'orge plutôt que du blé en cycle OI, possibilité de diversification vers les produits maraîchers.

- L'importance de l'élevage intensif est également un élément clé de la compréhension des systèmes des cultures, et de la valorisation des résidus.

• *Gestion de l'intercycle : goulot d'étranglement en PV*

Concernant la succession des cycles et des périodes d'interculture, un fait majeur doit être mis en évidence : la période d'interculture est beaucoup plus courte avant le semis du cycle PV, qu'avant celui du cycle OI : de 15 jours dans le premier cas, elle atteint en moyenne 1 mois dans le deuxième. A ceci s'associe l'importance de semer tôt en cycle PV, car les rendements sont affectés de manière très importante par un semis tardif. La gestion de cet intercycle est ainsi un élément –clé des systèmes de production.

De ceci découlent plusieurs choses :

- Le choix de l'orge en OI, pour son cycle cultural plus court
- L'importance de la diminution des opérations entre les cycles OI et PV, et donc du semis direct
- L'importance des facteurs types d'accès à l'eau : on comprend qu'une gestion collective permettra moins de liberté en terme de choix des dates de semis du cycle PV.
- La facilité d'accès au matériel joue également un rôle.

3) Fonctionnement de l'irrigation au sein du module

L'analyse qui suit est intéressante pour 3 aspects :

- D'une part, elle tentera de mettre en évidence dans quelle mesure les règles de gestion selon le type d'accès à l'eau, collectif ou particulier, pourraient favoriser la diffusion du nivellement laser et du semis direct. On parlera de **flexibilité** d'adaptation des pratiques d'irrigation, variable très importante quant à l'introduction d'innovations impliquant des modifications de ces pratiques.
- D'autre part, elle nous permettra de caractériser l'usage de l'eau au sein du module, en terme d'efficacité
- Enfin, elle justifiera la construction de la méthodologie de quantification des économies d'eau, en fournissant différentes « voies d'accès » au sein du module.

Nous présenterons donc les différentes sources d’approvisionnement en eau du module, ainsi que les règles de gestion qui les caractérisent.

a. Type d’accès à l’eau et règles de gestion

- *L’eau superficielle*

Comme nous l’avons déjà dit, l’eau superficielle représente 52% de l’approvisionnement du module. Cependant, le module d’Irapuato possède une particularité : la présence d’une usine de traitement des eaux donne à certaines sections accès à une source supplémentaire d’eau, les eaux noires, issues de la décantation des eaux usées de la ville. Ces eaux sont acheminées par le drain Irapuato, et approvisionnent principalement les sections 19 et 20. Ainsi, 20% des surfaces irriguées dans cette section le sont selon cette modalité.

- ❖ **L’eau de canal**

Au niveau du module

Définition du nombre d’irrigations

Comme nous l’avons vu, en novembre de chaque année, sont définis les volumes d’eau de barrage alloués à chaque module, ainsi que le nombre de cycles et d’irrigations. Le graphique ci-dessous représente l’évolution de ces volumes pour les cycles OI et PV depuis 1997. On notera que depuis cette date, l’évolution des volumes alloués semble peu significative (Nous irons plus loin dans l’interprétation ultérieurement), mise à part l’absence de cycle OI en 97-98 et 2000-2001, du fait du faible remplissage du barrage Solis.

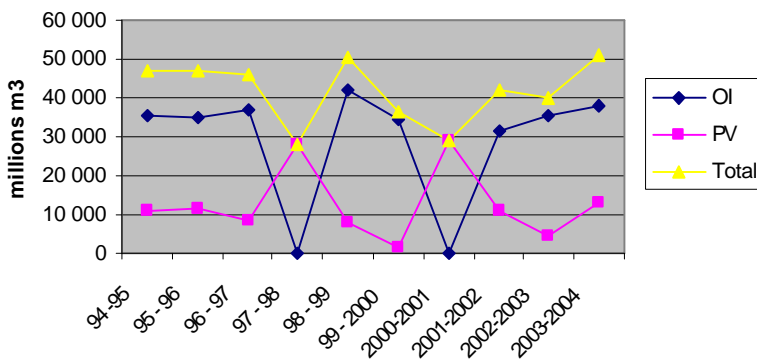


Fig. – Evolution des volumes alloués au module d’Irapuato (Module Irapuato, 2004)

De ceci découle donc le nombre d’irrigations possibles par cycle agricole, compte tenu des prévisions de surfaces mises en culture :

Année	Nombre d’irrigations
97-98	1
98-99	5
99-2000	5
2000-2001	1
2001-2002	4
2002-2003	4
2003-2004	5

Fig. – Nombre d’irrigations programmées, Module Irapuato (Module Irapuato, 2004)

Le module lui-même fait le choix de la répartition des irrigations entre cycle OI et PV. Globalement, en année « humide », 5 irrigations sont possibles, et la répartition classique est 4 irrigations en OI, permettant ainsi la culture de blé et d’orge, et 1 en PV, au moment du semis.

Cependant, certaines années, le volume stocké dans le barrage ne permet de réaliser que 4 irrigations. Les dirigeants du module ont alors fait le choix de la reconversion à l'orge : Ainsi, 3 irrigations ont été dédiées au cycle OI et 1 en PV (Cas des années 2001-2002 et 2002-2003, Cf. annexe 24).

Définition des dates d'irrigation

A partir de là, tous les modules irrigués par le canal Coria se réunissent et décident de la d'ouverture de la saison d'irrigation. La SdRL assure donc l'ouverture du Canal en fonction de cette demande.

L'annexe 25 présente les dates d'ouverture et de fermeture de l'année agricole 2002-2003 (Ces résultats sont issus des contrôles à la parcelle réalisés par les *canaleros*, voir plus loin).

Volumes programmés - Volumes utilisés

Comme nous l'avons vu, les volumes alloués ne sont que des prévisions, qui prennent en compte les volumes disponibles du fait du remplissage du barrage Solis, et la concession octroyée au module (calculé sur la base la surface possédant un droit d'irrigation et de la demande en eau des cultures traditionnelles). En aucun cas ces volumes ne prennent en compte l'importance des surfaces technifiées, grâce au nivellement laser ou autre, et une amélioration de l'efficacité d'application ne sera observable que de façon « pratique » au niveau des volumes réellement utilisés.

Deux fois par jour, une personne est chargée par le module de réaliser des mesures de débit en entrée et sortie du module, correspondant aux kilomètres 72 et 89 du canal Coria, pour le module d'Irapuato. Ces mesures ont pour but de faire état des mouvements d'eau qui ont lieu au sein du module, pour ainsi connaître plus précisément les volumes réellement consommés, et donc assurer un suivi journalier de l'irrigation. L'annexe 26 présente un exemple de l'un des relevés de mesure, pour la 1^{ère} irrigation du cycle 2003-2004.

Ces données sont ensuite transmises à la SdRL, qui effectue la comparaison entre volumes programmés et volumes réellement utilisés, en calculant un pourcentage de réalisation (*Porcentaje de cumplimiento*). D'après ce que nous venons de préciser à propos de la définition des volumes programmés, on peut penser qu'un module très « innovateur » en matière de semis direct ou nivellement laser, et dont l'efficacité à la parcelle sera améliorée, utilisera des volumes beaucoup moins importants en réalité qu'en théorie. Ceci sera re-précisé plus tard.

Au niveau des sections

Programmation hebdomadaire de l'irrigation

Au sein de chaque section, la programmation du tour d'eau est faite de manière hebdomadaire par le *canalero*. A Irapuato, chaque *canalero* est en charge de 2 sections, soit près de 2000 hectares. Il ouvre les vannes principales (ouvrant sur le réseau secondaire ou tertiaire) et informe les usagers de leur ordre d'irrigation. Les agriculteurs ouvrent eux-mêmes l'accès à leur parcelle (vanne ou barrage en terre) lorsque leur tour est venu.

En théorie, l'ordre d'irrigation hebdomadaire est basé sur l'ordre de paiement de la redevance par les usagers, ceci étant tenu de se présenter une semaine à l'avance au module. On comprend que ce mode de distribution pose un problème en matière d'efficacité de conduction. De plus, beaucoup d'agriculteurs n'ont pas la trésorerie nécessaire au paiement de la redevance avant irrigation.

Ainsi, en pratique, le *canalero* adapte sa programmation :

- Afin de rendre l'usage de l'eau plus efficace, et éviter que certaines parties du module manquent d'eau (On pense notamment aux parcelles situées en fin de canal), les *canaleros* du module, sous l'impulsion des dirigeants, ont mis en place un tour d'eau depuis 3 ans. Ceux-ci ont

remarqué que les parties médianes des sections comportaient un plus grande nombre de puits et, dans un souci d'équité entre usagers, ils ont donc décidé d'organiser la distribution ainsi : l'irrigation commence par la partie amont des canaux secondaires, se poursuit par la fin, pour se terminer par les parcelles situées dans la partie médiane. Ainsi, en cas de manque en fin d'irrigation, l'eau des puits peut servir de relais.

- De plus, et toujours dans un souci d'efficacité, le *canalero* tente d'achever l'irrigation au sein d'un même canal (tertiaire ou quaternaire) avant de passer au suivant. Ainsi, les agriculteurs dont les parcelles sont situées le long du même canal sont prévenus à l'avance pour que les terres de tous soient prêtes à recevoir l'irrigation.

- Enfin, l'eau est apportée à un agriculteur même si celui-ci n'a pas pu payer sa redevance, et ceci afin de ne pas pénaliser encore plus ceux qui n'ont que peu de moyens. Les demandes de lâchers d'eau faites hebdomadairement à la SdRL par le module prennent donc en compte les irrigations déjà payées, mais aussi la prévision de celles qui vont être quand même réalisées, bien que non payées.

Ce mode de distribution semble relativement efficace au sein du module d'Irapuato: Selon le gérant, les problèmes de manque d'eau qui touchaient les parties aval du module ont ainsi pu être résolus.

Lors des enquêtes réalisées, 1 seul agriculteur a souligné la présence de problèmes de retard dans la distribution. Tous les autres producteurs enquêtés soulignent que les problèmes d'accès à l'eau sont uniquement dus aux sécheresses, et que depuis 3 ans, l'eau ne manque pas. Lors d'entretien avec les *canaleros*, ceux-ci précisent toutefois que les conflits sont rares, mais qu'en irrigation de PV, les producteurs veulent tous irriguer le plus tôt possible, et ceci est parfois problématique.

Evaluation des volumes distribués à la parcelle

D'après les textes, une fois la concession de volume accordée par la CNA, le module doit évaluer le volume revenant à chaque usager en fonction de sa surface irriguée.

Dans les faits, les temps d'irrigation par parcelle sont évalués par le *canalero*, selon son expérience : Généralement, il fournit à la parcelle un débit de 50L/s, le plus facile à gérer au niveau de l'application, et il considère alors qu'un hectare est irrigué en 12 heures. Pratiquement, l'irrigation se termine quand l'eau arrive en bout de parcelle.

Le *canalero* doit effectuer chaque jour un rapport de contrôle de l'irrigation par parcelle (*Control por lote*) : Pour chaque parcelle irriguée le jour même (répertoriée par un numéro dans la liste des usagers, *padron de usuarios*), celui-ci reporte l'heure de commencement et de fin d'irrigation, ainsi que le débit appliqué en tête de parcelle. Le chargé de l'hygrométrie calcule alors les volumes consommés, et les transmet à la SdRL et à la CNA. Les *canaleros* du module d'Irapuato semblent accomplir consciencieusement leur travail, cependant, ils n'ont pas les moyens d'effectuer des mesures de volumes précises à la parcelle (Entretien SdRL). Leurs relevés restent donc des approximations, notamment au niveau du débit, de plus très variable au cours d'une irrigation, et souvent, ils reflètent peu les volumes réellement utilisés. L'annexe 27 présente un de ces relevés.

Ceci est étroitement lié au fait que la redevance d'irrigation soit établie en fonction de la surface.

Ces relevés seront donc difficilement exploitables, comme nous le précisons plus tard, dans un but de quantification.

Influence de la dotation volumétrique

Ces données sont issues d'un entretien avec le gérant et l'hygrométricien du module de Huanimaro. Nous avons fait le choix de nous intéresser également à ce module, du fait de l'existence d'une dotation volumétrique, ce qui pouvait supposer un meilleur contrôle des volumes à la parcelle (nécessaire à la quantification), s'accompagnant d'un plus grand souci d'économie d'eau.

Ainsi, depuis 2 ans, les modules de Corralejo et Huanimaro ont mis en place un système de paiement des redevances par unité de volume consommé. Ceci implique une connaissance très précise des volumes réellement prélevés, et non simplement une évaluation grossière, comme c'est le cas à Irapuato. Les *canaleros* de ce module doivent procéder plusieurs fois par jour à 3 mesures de débit à la parcelle. Cependant, le gérant du module nous a précisé que ce système étant très lourd, il est difficile de s'y tenir en pratique. Pour l'instant, la dotation est basée sur une moyenne sur le module des volumes prélevés aux niveaux des grandes prises d'eau.

L'utilisation de ces relevés pourrait donc être une piste intéressante quant à l'évaluation des volumes économisés grâce au nivellement laser et au semis direct.

- ***Les eaux usées de la ville***

En tout, 530 hectares sont irrigués grâce aux eaux usées de la ville d'Irapuato. Cette source d'approvisionnement offre beaucoup plus de flexibilité que l'eau de canal, car non soumise aux restrictions évoquées plus haut. Ainsi, un plus grand nombre d'irrigation par cycle est possible. Selon un *canalero* d'Irapuato, un agriculteur serait allé jusqu'à irriguer 8 fois son blé en cycle OI. Elle permet surtout la production de luzerne, culture demandant 1 irrigation par mois.

Un agriculteur souhaitant utiliser cette eau doit lui aussi en informer le module et acquitter sa redevance avant d'irriguer. En pratique, la plupart des agriculteurs paient après avoir utilisé l'eau.

Le pompage des eaux dans le drain se fait soit par la prise de force des tracteurs, soit par des stations le plus souvent électriques, individuelles ou collectives. Dans ce cas, l'organisation des tours d'eau ne semble pas modifier grandement les pratiques d'irrigation, et notamment le choix des dates d'irrigation, du fait du faible nombre d'usagers (2 ou 3).

- ***L'eau souterraine***

Au niveau du module

Le module Irapuato a un double droit de regard sur les puits situés dans ses sections : les canaleros relèvent les débits, temps et surfaces irrigués, tout comme pour l'eau de canal. Les résultats de la récolte (et notamment les surfaces récoltées par type de culture ainsi que les rendements) par type de puits, officiels ou particuliers, sont également enregistrés. Cependant, il n'y a aucun droit de contrôle du module sur les volumes prélevés, ni sur l'organisation des usagers d'un même puits, même officiel.

Tout comme pour l'eau de surface, les relevés des canaleros pour les puits ne sont que des approximations, et seront aussi difficilement utilisables pour une quelconque quantification.

Au niveau des usagers

Au niveau des puits collectifs, différents modes de gestion sont à discerner.

Organisation du tour d'eau

- ❖ **Tirage au sort** : Un tirage au sort annuel fixe l'ordre de distribution de façon plus ou moins flexible (Il peut y avoir des arrangements, notamment au moment pour l'irrigation de semis, si un producteur n'est pas prêt au moment de son tour).
- ❖ **Tour fixe** : Celui-ci est établi à la perforation du puits.
- ❖ **Système du « 1^{er} prêt à semer, 1^{er} à irriguer »** : Sachant qu'en cycle PV, le rendement de la culture dépendra directement de la précocité de la date de semis, on comprend que le type de préparation du sol va prendre une importance capitale.

Une autre variable intéressante est la **pression d'utilisation** des puits, car elle déterminera également les possibilités de manœuvre des usagers dans l'utilisation de l'eau. Celle-ci est égale au rapport débit/surface irriguée.

Différents modes de paiement

La plupart des puits sont électrifiés. Le paiement s'effectue donc en fonction du nombre de kWh consommés. Plus l'efficacité du puits sera grande, et plus le volume d'eau extrait par kWh sera élevé.

Différents modes de paiement, plus ou moins incitateurs à l'économie d'eau, sont également mis en place dans ce cadre de gestion collective :

- ❖ Mode de paiement **à l'hectare**, considéré comme non incitateur à l'économie d'eau
- ❖ Mode de paiement par **heure ou par m³**, plus incitateur à l'économie d'eau

En ce qui concerne les puits particuliers, on comprend aisément que la liberté soit totale dans le choix des dates d'irrigation.

- ***Utilisation conjointe eau de canal / eau de puits***

En théorie, l'accès à l'eau de canal est interdit aux possesseurs de puits, sauf s'ils justifient un non fonctionnement ou un assèchement de celui-ci. En pratique, les possesseurs de puits peuvent posséder un droit d'eau de barrage. Ainsi, dans le module d'Irapuato, près de 50% des possesseurs de puits utilisent également l'eau de canal (Sollic, Gourhand, 2002).

4) Bilan sur l'usage de l'eau

a. Accès à l'eau et flexibilité des pratiques d'irrigation

- Finalement, diverses réflexions ressortent de cette étude :

- Dans le cadre d'une gestion collective de la ressource, à savoir pour l'eau de canal ou de puits collectif, la liberté de choix sera limitée quant aux pratiques d'irrigation, les producteurs étant soumis à un tour d'eau plus ou moins fixe.

Ainsi, la flexibilité permise par l'eau de canal est très limitée : Un agriculteur qui désire irriguer doit se « plier » aux dates d'ouverture et de fermeture de l'irrigation, s'il ne veut pas rater une irrigation. Sachant qu'il existe également une différence d'un mois entre la première et la dernière irrigation sur un même cycle, la place dans le tour d'eau est un facteur qui peut déterminer le choix des pratiques d'un agriculteur.

Au niveau des puits collectifs, cette flexibilité dépend directement de la variable pression d'utilisation. Selon sa valeur, l'irrigant aura une marge de manœuvre plus ou moins importante.

On pourra ainsi classer les différentes sources d'eau de la façon suivante, de la plus flexible à la moins flexible:

Puits individuels > Eaux noires > Puits collectif + Eau de canal > Puits collectifs > Eau de canal.

- En terme d'incitation à l'économie d'eau, on peut penser que l'irrigation par puits individuel serait la plus favorable (Cf. b.). Le système de paiement au volume dans le cadre d'une gestion collective de puits paraît également une solution intéressante. On note également l'initiative de dotation volumétrique des modules Huanimarco et Corralejo, présenté par la SdRL comme un objectif à long terme pour tout le district permettant réellement le développement d'une véritable culture de l'eau.

- On pourra alors formuler les **2 hypothèses** suivantes :

1. Le type d'accès à l'eau a une influence sur la capacité à innover, et ceci pour deux raisons :

- ❖ Une faible flexibilité dans l'accès à l'eau sera peu favorable, permettant peu de liberté dans les pratiques d'irrigations.
- ❖ Un paiement volumétrique (cas des puits individuels et de certains puits collectifs) sera favorable.

Les enquêtes ne permettront de répondre que de façon partielle : par soucis de centrer le questionnaire sur la quantification des économies d'eau, nous ne sommes pas rentrés plus profondément dans l'influence de tel mode d'organisation collectif (paiement ou organisation du tour d'eau) sur la volonté d'innovation des producteurs.

Cependant, nos conclusions s'orienteront sur une opposition accès collectif/accès individuel (et plus particulièrement eau de canal / eau de puits) quant à la prise en compte du facteur « économie d'eau » dans les motivations des agriculteurs innovateurs.

2. La nature des économies d'eau (en nombre d'irrigations, ou volume) sera conditionnée par le type d'accès à l'eau.

Nous nous pencherons sur cette hypothèse au cours de la partie 4.

b. Indicateurs d'efficience de l'usage de l'eau

Pour mieux comprendre l'enjeu, défini dans la problématique, d'une agriculture plus efficiente en terme d'amélioration d'usage de l'eau, il nous a semblé intéressant de calculer quelques indicateurs d'efficience de l'usage de l'eau, dans le cas concret des systèmes irrigués du module d'Irapuato.

• Efficience de conduction

Le calcul des efficacités de conduction de l'eau de canal est effectué à partir des relevés de volumes programmés et réellement utilisés (Cf. plus haut) par les modules, dont disposent la CNA et la SdRL. Ceux-ci font état des volumes bruts (au niveau des œuvres de tête) et nets (distribués aux parcelles). On obtient les résultats suivants :

- En cycle OI 2003-2004, l'efficience de conduction a été de 72%. Sur les 3 derniers cycles agricoles, on obtient une moyenne de 67%.
- En cycle PV 2004, on obtient une efficience de conduction de 79%, contre une moyenne de 69% sur les 3 derniers cycles.

• Efficience d'application- Comparaison eau de puits/ eau de canal

C'est elle qui nous intéresse réellement dans le cadre de cette étude.

Eau superficielle

Elle est calculée de la façon suivante :

D'après le rapport de coût et production, on connaît la proportion blé / orge des différents cycle OI des surfaces irrigués par l'eau superficielle : Ainsi, 83% des surfaces cultivées le sont en orge, contre 17% pour le blé. On connaît également les besoins respectifs en eau de ces 2 cultures (Modèle CROPWAT, Données CNA). Seule les cultures de céréales seront prises en compte, car avec l'eau superficielle, nous avons vu que le maraîchage était impossible. On obtient ainsi une demande en eau globale, exprimé sous forme de lame d'eau, tout type de culture confondu. On obtient la valeur de 44,60 cm.

D'autre part, on calcule la lame nette d'eau utilisée par cycle de culture : celle-ci est le rapport entre la surface réellement cultivée et le volume net à l'échelle du module.

Finalement, on obtient en cycle OI 2003-2004, une efficience de 65%.

En PV 2004, l'efficacité est évaluée sur les lames nettes apportées lors de la première irrigation de semi, sachant que la lame d'eau requise en première irrigation est de 12,6 cm pour maïs et sorgho, selon les données de la CNA.

On obtient une efficacité d'application de 56% en 2004.

Comparaison eau de puits/ eau superficielle

Peut-on mettre en évidence chez les possesseurs de puits une moindre consommation d'eau à la parcelle ?

- Pour l'eau de canal, on applique la méthode de calcul décrit au-dessus sur l'année 2000-2001 :

Cette année-là, le cycle OI n'a pas eu lieu. On prendra donc simplement en compte le cycle PV. En procédant comme pour le cycle PV 2004, on obtient également une **efficacité de 56%**.

- Pour calculer l'efficacité d'application de l'eau de puits, nous avons besoin de deux types de données :

- En ce qui concerne les volumes consommés par les puits, on utilise un rapport fourni par la CNA, sur lequel figurent les volumes consommés par type de ressource : gravité, puits officiels et puits particuliers. Malheureusement, ce type de fichier étant très peu actualisé, nous ne disposons de données que jusqu'à l'année 2000-2001, et sans distinction entre cycle OI et PV. Nous raisonnerons donc sur cette année agricole, et de façon globale.

- Pour évaluer les demandes des cultures établies, on utilise le rapport des coûts et production du module d'Irapuato, où figurent les surfaces récoltées par type de culture et par cycle. Ainsi, on prendra en compte les cultures présentes de façon majoritaire sur chaque cycle. Finalement, on obtient la répartition suivante :

Cycle OI : Orge (28%), Blé (14%), Brocoli (13%), Oignon (12,5%), Ail (10%), luzerne (11%) et fraise (11,5%)

Cycle PV : Sorgho (70%), Maïs (13%), luzerne (8,5%) et fraise (8,5%)

Étant donné que l'année est divisée en 2 cycles, il est nécessaire, pour obtenir une demande globale sur l'année, d'additionner les valeurs obtenues pour chaque cycle.

En vue de simplifier le calcul, on considérera, pour les pérennes (fraise et luzerne), que la demande en eau est répartie de façon équitable entre les cycles OI et PV.

Finalement, on obtient le résultat suivant :

Demande cycle OI = 47,68 cm

Demande cycle PV = 35,58 cm

Soit au total, une demande de 83,26 cm d'eau par an et par hectare.

En 2001, le volume utilisé par les puits particuliers du module d'Irapuato était de 39 641,2 millions de mètres cubes, pour une surface cultivée de 2466 ha en OI et 2698 en PV, soit une moyenne de 2582 ha cultivés sur l'année. On obtient ainsi une lame d'eau globale de 153,5 cm sur l'année.

Finalement, l'**efficacité d'application** est de : $83,26/153,5 = 54\%$.

Conclusions

- ❖ Sachant qu'une irrigation gravitaire bien gérée peut permettre d'atteindre des efficacités voisines de 80% (Mailhol et al, 1999, cité par Nemeth I., 2001), on se retrouve avec des valeurs très moyennes voire basses d'efficacité d'application, et notamment en cycle PV.

- ❖ D'après ces résultats, il n'y aurait pas réellement de différences dans l'application entre eau de puits et eau superficielle, contrairement à ce que l'on aurait pu penser.

Ceci dit, ces valeurs restent des estimations basées sur des données plus ou moins fiables. Il faut donc rester prudents vis-à-vis de ces chiffres, qui paraissent un peu surestimés.

- **Efficiences globale**

Finalement, on obtient les valeurs suivantes d'efficiences globales sur l'année 2003-2004 :

Cycle OI: Eg = 47%

Cycle PV: Eg = 44%

Ceci signifie que globalement, sur tout le système, on a des pertes proches de 55% d'eau. On comprend donc qu'une amélioration de l'usage de l'eau agricole est possible. Nous discuterons ces résultats dans la dernière partie.

c. Evaluation des économies d'eau : Différentes approches

Finalement, l'immersion au sein du module d'Irapuato nous aura permis d'appréhender de façon concrète le fonctionnement d'une zone irriguée, à savoir l'association d'usagers. De cette étude, et de la rencontre de personnes impliquées à différents niveaux dans la gestion de l'irrigation, se sont précisées différentes voies d'accès pour une quantification d'économies d'eau à l'échelle de la parcelle. Nous ne repréciserons pas ici de façon détaillée la méthodologie décrite dans la première partie, mais nous en citerons les axes principaux :

- **A l'échelle de la parcelle**, et dans le cas de la dotation volumétrique (Module de Huanimaro), des relevés relativement précis de la part des *canaleros* sont à attendre. Ceux-ci nous permettront d'effectuer 2 types de comparaison : une évolution des volumes d'eau utilisés par parcelle en fonction de la date d'adoption de l'innovation, et une comparaison entre parcelles « avec et sans innovations ». Pour des raisons pratiques, ceci n'a été possible au sein du module d'Huanimaro que pour le nivellement laser.
- **A l'échelle du module**, les volumes consommés sont relevés de façon bi journalières. Il serait alors intéressant de comparer l'évolution des quantités d'eau utilisées au sein d'un module « innovateur », c'est-à-dire où les innovations auront une diffusion forte, et au sein d'un module « non innovateur ».
- Il aurait pu être également intéressant d'effectuer une corrélation évolution des surfaces nivelées ou en semis direct / volumes consommés. Cependant, l'échelle du module est trop étendue pour donner des résultats significatifs, et la section se serait avérée une échelle convenable. Cependant, aucune donnée de volumes par **section** n'est enregistrée ni même relevée.

De plus, différents aspects du fonctionnement de l'agriculture irriguée mettent en évidence les faits suivants :

- Les puits constituent une approche intéressante : en effet, ils permettent un suivi plus juste de l'irrigation à la parcelle, le débit étant fixe, contrairement à celui du canal. On peut également penser que les possesseurs de puits auront une meilleure connaissance des temps d'irrigation de leur parcelle, du fait du paiement de leur consommation électrique. Ainsi, l'échantillon de nos enquêtes prendra en compte cette remarque.

Nous avons également eu la chance, dans le cas du semis direct, de pouvoir suivre une irrigation à la parcelle, associée à des mesures d'humidité résiduelle. Le choix de la parcelle s'est basé principalement sur le facteur irrigation par puits.

- Les enquêtes constituent une approche obligée lorsque l'on parle d'innovation technique.

B. Contexte d'adoption du nivellement laser et du semis direct dans le module d'Irapuato

Cette étude s'articulera en 2 temps : tout d'abord, on réalisera un bref état des lieux de l'importance des deux innovations, en terme de surface, sur le module d'Irapuato. Dans un deuxième temps, on s'intéressera plus particulièrement aux conditions d'adoption du semis direct et du nivellement laser, selon les résultats des enquêtes, en replaçant les producteurs interrogés dans la typologie qui sera alors décrite.

1) Développement des innovations étudiées

a. Le semis direct

Comme nous l'avons souligné précédemment, l'adoption du semis direct est marquée par une différence nette entre cycles OI et PV.

Cycle OI

La préparation du sol avant semis reste traditionnelle, avec un labour et 2 passages de cover-crop. Un nivellement « traditionnel » (Cf. partie 2) est réalisé, ainsi qu'un retraçage des raies d'irrigation. La gestion des résidus se fait alors selon une modalité unique : bottelage des pailles de sorgho ou maïs, soit environ 70% de résidus exportés.

Une minorité d'agriculteurs pratiquent le semis direct au cours de ce cycle. La plupart du temps, les pailles de céréales du cycle PV sont exportées. Il est en effet très rare qu'un agriculteur laisse la totalité des résidus sur la parcelle. Enfin, une quantité négligeable d'agriculteurs brûlent les résidus.

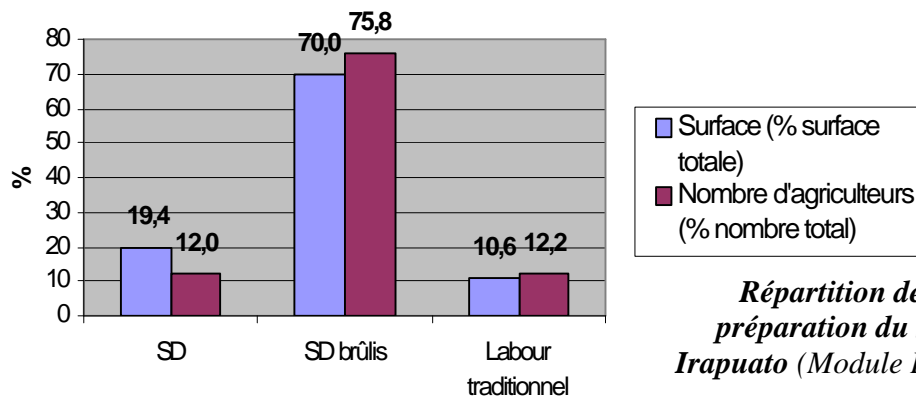
Finalement, selon l'ingénieur ASOSID du module, **90%** des surfaces sont en **semis traditionnel**, et donc seulement 10% en semis direct. Parmi ces 10%, les résidus seraient exportés sur 80 à 90% des surfaces. Il ne s'agit ici que d'évaluations.

Pour chaque section, nous avons réalisé, avec l'aide des *canaleros*, un travail complémentaire de localisation des parcelles en semis direct, section par section. Au total, 342 hectares de semis direct ont été mis en évidence, sur une surface cultivée totale de 3352 hectares, soit 10,2% des surfaces. Ces résultats ne prennent pas en compte le type de gestion des résidus.

En cycle PV

La diffusion du non travail du sol est massive, pour les raisons qui ont été évoquées précédemment. Cependant, la gestion la plus courante des résidus reste le brûlis. La distinction résidus exportés en partie ou non exportés n'a pas été prise en compte lors de cet inventaire.

Finalement, on trouve les proportions suivantes, en surface, et en nombre de producteurs :



Répartition des types de préparation du sol, Module Irapuato (Module Irapuato, 2004)

Ces résultats sont issus d'un travail réalisé conjointement entre l'ingénieur ASOSID du module et les *canaleros*, qui ont répertorié pour chacune des 800 parcelles du module le type d'itinéraire technique rencontré, en matière de préparation du sol et pour le cycle PV.

On a donc une proportion de semis direct sur couvert végétal, c'est-à-dire avec au moins 30% des résidus laissés sur la parcelle, tout de même supérieure en cycle PV, avec 20% des surfaces, qu'en cycle OI. En cycle PV, on pourra donc considérer que la préparation la plus « traditionnelle » est finalement le semis direct sur résidus de culture, mais avec brûlis de pailles.

b. Le nivellement laser

Comme nous l'avons déjà dit, le nivellement laser a fait son apparition tardivement dans le module d'Irapuato, c'est-à-dire en 2000. Le module possède deux machines, de faible capacité : Le prix du nivellement est donc relativement élevé, soit 2800 pesos jusqu'à une limite de 350 m³ de terre déplacé, puis de 11 pesos par m³ supplémentaire.

Finalement, 9,8 % des terres du module sont actuellement nivelées (Cf. Partie 2), pour une moyenne de 21% sur le district, ce qui fait du module d'Irapuato un module que nous qualifierions de peu innovateur.

Cependant, l'augmentation des surfaces est régulière d'année en année, depuis l'introduction de cette technique.

Selon le gérant du module, une quantité égale de petits propriétaires et d'ejidataires aurait réalisé ce type de travaux. Il signale également que du fait de la surexploitation des aquifères, on assiste à un affaissement de certaines zones du module, et donc à de sérieux problèmes de dénivellation, ce qui obligerait certains agriculteurs à réaliser un nivellement.

2) Conditions d'adoption : Résultats des enquêtes

Le but de cette partie est d'éclaircir les différents points et hypothèses évoquées précédemment. Cependant, comme nous l'avons déjà dit, l'analyse des conditions d'adoption d'innovations met en jeu des interactions complexes de facteurs à la fois techniques et socio-économiques, et mériterait d'être l'objet unique d'une étude.

Cependant, celle-ci se révèle intéressante dans le cadre de notre sujet, car elle nous permettra de situer l'importance du facteur économie d'eau dans la promotion des innovations.

On commencera par la présentation rapide d'une typologie des agriculteurs du module d'Irapuato déjà réalisée, au sein de laquelle nous replacerons les producteurs enquêtés afin d'élargir nos conclusions à des groupes d'agriculteurs.

a. Typologie des producteurs enquêtés

Typologie des irrigants du module d'Irapuato

Cette typologie a été réalisée en 2002 sur le module d'Irapuato (Gourhand, Sollic, 2002), et les facteurs de différenciation des exploitations s'articulent en 3 points :

- **Les moyens de production :** Cette thématique comprend l'importance de la surface cultivée, le type d'accès à l'eau, le capital (Niveau de mécanisation, présence d'un élevage, capacité d'investissement), et la main d'œuvre (familiale ou employeurs permanents). Nous définirons pour chaque groupe d'agriculteurs facteurs limitants et atouts.
- **L'importance de l'activité agricole et l'accès au marché :** Présence d'une double activité, migration, existence de contrat.
- **Les facteurs historiques :** La dualité ejidataires / petits propriétaires renforcée au moment de la réforme agraire reste un facteur historique de différenciation important

entre système de production. Elle joue avant tout sur les surfaces cultivées et les moyens de production.

La typologie met en avant 5 groupes d'agriculteurs.

Type A : Petites exploitations sans eau d'extraction

Ce sont principalement des ejidataires, possédant une surface inférieure ou égale à 4 hectares. Certains ont uniquement accès à l'eau superficielle, d'autres peuvent éventuellement acheter à l'occasion un tour d'eau. La capacité d'investissement est faible, la mécanisation presque nulle et la main d'œuvre principalement familiale. Ces producteurs possèdent fréquemment un revenu en dehors de l'agriculture, par la double activité (petit commerce ou travail de journalier) ou les dons d'enfants travaillant aux Etats-Unis. Une valorisation des sous-produits de culture par un petit élevage peut être une stratégie de ce type d'irrigants.

Type B : Petits céréaliers ayant accès à des puits en société

Ce sont généralement des ejidataires. Ce qui les rend différents des précédents est une surface cultivée plus importante (jusqu'à 15 hectares) et un accès à l'eau de puits collectif. Leur capacité d'investissement est plutôt moyenne, ils possèdent une mécanisation de base (tracteurs et quelques outils de préparation du sol). Là aussi, la présence d'un petit élevage permet une valorisation des résidus de culture.

Type C : Grands et moyens éleveurs avec accès à l'eau de pompage (puits et eaux noires)

Ce type de producteurs possède une surface moyenne de 10 à 20 hectares, dont le système de culture est orienté vers l'alimentation d'un élevage important. Les plus gros élevages appartiennent à des petits propriétaires. L'accès à l'eau de pompage permet la culture de luzerne. On note également la présence d'employés permanents et d'une mécanisation relativement importante. La présence d'un élevage rend la capacité d'investissement assez élevée, et la liquidité importante.

Type D : Producteurs maraîchers avec accès à l'eau de puits

Ces producteurs peuvent être ejidataires ou petits propriétaires, possèdent une surface de 15 à 20 hectares en moyenne. Ils sont dynamiques sur le marché foncier, et louent plus de 50% de leurs terres. Ils ont accès à l'eau de puits, souvent individuellement et ils sont souvent engagés dans une optimisation technique de l'irrigation. Ce sont eux qui cultivent le plus de produits maraîchers, et l'accès à des contrats avec les entreprises d'exportation leur confère une forte capacité d'investissement.

Type E : Grands et moyens céréaliers, accès à l'eau de puits éventuel ou non

Nous distinguerons 2 sous groupes pour mettre l'accent sur le type d'accès à l'eau.

- E1 : Les producteurs que nous nommerons moyens céréaliers possèdent une surface de 15 à 25 ha cultivée exclusivement en céréales, dans une stratégie de minimisation du risque. Le facteur limitant reste l'eau, ayant accès en priorité à l'eau de canal, et éventuellement, sur une partie de la surface, à l'eau d'un puits géré en société. Leur niveau de mécanisation est très élevé, ils possèdent 1 ou 2 employés permanents.

- Les grands producteurs céréaliers sont des petits propriétaires possédant des surfaces pouvant aller de 100 à 250 ha, et l'irrigation se fait en majeure partie grâce à des puits individuels. Engagés dans la production céréalière, ils cherchent actuellement d'autres alternatives : production de maraîchage sous contrat sur une partie de la surface, spécialisation

dans l'élevage à grande échelle. Les mécanisations et capacités d'investissements sont très importantes.

Les agriculteurs enquêtés

Nous ne décrivons pas ici de façon précise les systèmes de production de chaque agriculteur (Ceux-ci sont présentés en annexe). Nous précisons simplement l'effectif par groupes définis ci-dessus, en fonction de l'innovation réalisée.

	Type A	Type B	Type C	Type D	Type E		TOTAL
					E1	E2	
Semis direct PV	Agriculteur 17	Agriculteurs 2, 5 et 11		Agriculteur 9	Agriculteur 7		6
Semis direct 2 cycles		Agriculteur 10			Agriculteur 3		2
Semis direct PV et nivellement laser		Agriculteur 8	Agriculteurs 4 et 14			Agriculteur 6	4
Semis direct 2 cycles et nivellement laser					Agriculteur 1	Agriculteur 13	2
Non-innovants		Agriculteur 12, 15 et 16					3
TOTAL	1	8	2	1	3	2	17

c. Analyse du contexte d'adoption

Nous ne chercherons pas à effectuer une étude qualitative, mais plus à mettre en avant des éléments qui nous ont semblé importants dans la compréhension des mécanismes de transfert des techniques, en s'intéressant plus particulièrement à l'élément « économie d'eau ».

SEMI DIRECT

- Une diffusion réalisée par des producteurs « pionniers »

Années de conversion et surfaces concernées

- En cycle PV, les premiers agriculteurs réalisant le semis direct ont effectué leur conversion à la fin des années 1990 (En 96,98 et 99). On constate que ces 3 agriculteurs appartiennent aux groupes E et B. Dans tous les cas, les surfaces cultivées sont dans tous les cas relativement importantes (entre 17 et 60 hectares), ce qui a permis à ces premiers innovateurs de faire l'essai sur une surface tout d'abord réduite, pour l'adopter totalement à l'heure actuelle.

On retrouve la même tendance chez les suivants à s'être convertis, majoritairement en 2000 : lorsqu'ils sont en possession d'une surface inférieure à 15 hectares, l'essai est généralement réalisé sur la totalité des terres.

- En cycle OI, notre échantillon ne contient que 4 innovants. Parmi ceci, 3 appartiennent au type E : ils cultivent une surface importante (83 hectares en moyenne), et sont très mécanisés. On pourrait donc penser que ce type d'agriculteurs, pour la plupart des petits propriétaires, serait le plus innovateur, ou aurait plus les moyens d'innover. En effet, ceci pourrait s'expliquer de 2 façons : la possibilité de réaliser des « essais » sur une partie de leur terre d'une part, sans prendre trop de risques, et une facilité d'accès au matériel (botteleuse et semeuse) d'autre part (Nous verrons que ce dernier facteur est important). L'échantillon est bien sûr trop faible pour conclure, mais cette hypothèse a été confirmée au cours de différents entretiens, au cours desquels a été évoqué le fait que les « petits » (Type A et B), pour plus de sûreté, attendent de voir des résultats concrets avant de se lancer.

3 agriculteurs mentionnent le fait qu'eux ou leur père avaient déjà testé la technique du semis direct au début de son introduction : le manque de connaissance et d'appui technique a fait qu'ils ont du abandonné.

Processus de diffusion

Les premiers à avoir pratiqué le semis direct en cycle PV l'ont fait dans des circonstances particulières : soit par hasard, parce que le brûlis des résidus n'avaient pas été total, soit dans une journée de démonstration dans une ville voisine. A partir de là, et grâce à l'intervention d'ASOSID, ils ont joué le rôle de leaders, en faisant de la diffusion producteur à producteur. Ainsi, 8 agriculteurs sur 14 se sont convertis sous l'impulsion d'un voisin.

En cycle OI, ce processus n'est qu'en cours d'engagement : peu d'agriculteurs savent que cette technique existe pour ce cycle et encore moins que le module d'Irapuato dispose de 2 équipements. Ils pensent que le labour du cycle OI donne de très bons résultats, et que de plus. Cependant, les agriculteurs réalisant déjà le semis direct en PV semblent relativement intéressés, mais attendent de voir des résultats concrets, d'où encore une fois l'importance du transfert producteur à producteur.

- **Les points-clés de l'adoption : Importance du facteur « eau » ?**

La motivation de la conversion

La motivation initiale est le facteur déclenchant la conversion à la technique.

- En PV, la baisse des coûts de production est citée dans 85% des cas comme étant la motivation première. 3 agriculteurs font allusion à un point non évoqué plus haut : la précision des semeuses de semis direct en PV est meilleure que celle des traditionnelles, surtout au niveau des profondeurs et densités de semis. 2 agriculteurs citent également la diminution du temps de travail.
- En OI et dans 100% des cas, le motif principal est également la baisse des coûts de production, et ceci malgré le fait que ces agriculteurs n'aient en général pas de problèmes de rentabilité.

On remarque donc qu'en aucun cas, l'économie d'eau n'est citée comme étant un des motifs de conversion au semis direct, et ceci quelque soit l'accès à l'eau. On peut cependant se demander si ce facteur est tout de même perçu comme étant un bénéfice inhérent à cette technique.

Bénéfices

- Comme nous aurions pu nous en douter, tous les agriculteurs sans exception citent la baisse des coûts de production comme un bénéfice évident du semis direct.

- Vient ensuite un point non évoqué précédemment : la qualité du semis en PV. En effet, la semeuse en semis direct possède une précision beaucoup plus importante que la traditionnelle, notamment au niveau des profondeurs de semis et des densités : ainsi, les agriculteurs ayant évoqué ce point s'accordent pour dire que depuis leur conversion, ils utilisent une quantité inférieure de semences, et que la germination est meilleure (

- La diminution du temps de travail est également cité comme étant un bénéfice important : ceci correspond à ce que nous avons dit, à savoir la volonté de semer tôt en cycle PV.

- Le facteur augmentation de l'humidité du sol arrive ensuite. Il est alors intéressant, par rapport aux hypothèses formulées plus haut sur l'influence de l'accès à l'eau, quels groupes d'agriculteurs jugent ceci comme un bénéfice notable du semis direct :

Seul 1 agriculteur du groupe E2, avec accès à l'eau de puits individuel, cite cet avantage. Il faut cependant être prudent du fait de la faible représentation du groupe E2 dans l'échantillon

réalisé. Les autres appartiennent à des groupes divers, principalement E1 (2 agriculteurs) et B (2 agriculteurs). Dans tous les cas, la source d'approvisionnement majeure en irrigation est l'eau de canal, avec accès éventuel à l'eau de pompage en société.

Ceci ne permet finalement pas de conclure sur l'influence du type d'accès à l'eau quant à la perception du bénéfice économie d'eau grâce au semis direct. De plus, l'augmentation de l'humidité est parfois plus liée à l'amélioration de la germination, et donc à l'augmentation des rendements,

- Enfin, les bénéfices d'ordre agronomique déjà évoqués (Amélioration de la structure du sol, baisse de la consommation de fertilisants) semblent secondaires : l'amélioration de la structure du sol est souvent perçue par des agriculteurs relativement technifiés (Groupe E), et réalisant le semis direct depuis une longue période.

Difficultés

Accès à l'équipement

En PV, les agriculteurs réalisant du semis direct ont tous acheté un semoir, en groupe dans le cas des types A et B, de façon individuelle chez les plus gros. La diffusion massive a été rendue possible grâce aux subventions gouvernementales visant à la promotion du semis sur couvert végétal (Cependant, la plupart des agriculteurs ayant bénéficié de cette aide continue à brûler les pailles). L'accès au semoir n'est donc plus un facteur limitant.

En OI, la représentativité de l'échantillon ne permet pas de conclure : tous ont acheté un semoir, mais ils font partie des agriculteurs relativement bien mécanisés (Groupe E).

Par contre, plus rares sont ceux qui possèdent une botteleuse : plusieurs agriculteurs relient une difficulté d'accès à cet équipement au fait de brûler les pailles en PV. Ainsi, les agriculteurs préfèrent brûler que laisser 100% des résidus de culture, car ils pensent ne pas dominer la technique.

Gestion agronomique

Ces types de difficultés ont souvent un lien avec le facteur « eau » :

❖ 2 agriculteurs s'intéressent à la gestion de l'irrigation, rendue plus difficile par la présence de résidus. C'est pour ceci que beaucoup brûlent ou exportent les pailles. Ceux qui le peuvent choisissent d'investir dans un équipement pour mouliner les pailles.

❖ Une humidité trop importante pourrait « noyer la culture » en cycle PV (cité par deux agriculteurs). Pour éviter ces problèmes, 3 points semblent essentiels dans la maîtrise du semis direct :

- Assurer une bonne répartition des pailles, ce qui est possible grâce que de pailles présents sur les moissonneuses modernes.

- Il est mieux de semer le plus tôt possible, pour ne pas qu'il y ait trop d'humidité lorsque la saison des pluies commencent.

- Il est primordial d'avoir un terrain bien nivelé, et si possible au laser : ainsi, un bon drainage est assuré en cas d'excès d'eau, et les cultures ne sont pas noyées.

❖ 2 agriculteurs citent des problèmes de gestion des mauvaises herbes. Ceci paraît peu, la prolifération des adventices étant souvent citée comme une difficulté majeure du semis direct.

NIVELLEMENT LASER

• Diffusion

Quels agriculteurs et sur quelles surfaces ?

6 agriculteurs enquêtés réalisent le semis direct. Ils appartiennent aux groupes E1 (1 agriculteur), E2 (2), C (2) et B (1). La taille de l'échantillon ne nous permet évidemment pas de conclure sur une quelconque relation entre type d'agriculteurs et réalisation du semis direct.

Les surfaces nivelées sont également diverses : on pourra relier ceci aux motivations.

Conditions de réalisation

Dans presque tous les cas, le nivellement a été réalisé par le module, et tous les agriculteurs ont ainsi bénéficié de l'aide du gouvernement. Seul un agriculteur a nivelé 20 hectares avec sa propre machine, qu'il a ensuite revendue.

Les non-innovants

Ils sont tous au courant de ce qu'est le nivellement laser, et également que le module peut réaliser ce genre de travaux. La diffusion est donc bonne (On comprend que c'est dans l'intérêt financier du module de faire cette publicité).

Motivations et bénéfices : Place du facteur eau

- 4 agriculteurs soulignent le fait qu'ils ont réalisé un nivellement, parce que leurs terrains étaient complètement dénivelés. Ils ont connu des pertes de rendement, du fait de la présence de fossés dans lesquels s'accumulait l'eau d'irrigation. Cependant, ils reconnaissent la diminution des volumes consommés comme étant un bénéfice induit. Ainsi, ces agriculteurs ne nivelleront que les parcelles qui auront ce genre de problèmes.

- 2 agriculteurs mentionnent les économies d'eau comme motivation première: le premier appartient au groupe B et parle d'économie en terme de temps, la main d'œuvre étant un facteur limitant dans son exploitation. Le second appartient au groupe E2 : il possède un puits individuel, et parle en plus d'économie en volume.

Dans ce cas, ils ont ou pensent niveler la totalité des terres.

Obstacles à la diffusion

Les non innovants ne doutent en aucun cas des bienfaits du nivellement laser, dans le cas de gros problèmes d'hétérogénéité du relief. Cependant, la plupart ne pensent pas le réaliser pour les raisons suivantes :

- Leurs terres sont naturellement assez bien nivelées, et ce n'est donc pas une nécessité.
- Lorsqu'ils louent une partie des terres qu'ils cultivent, la décision revient au propriétaire.
- Ils ont acheter en groupe une niveleuse « traditionnelle ».
- 1 seul agriculteur du groupe B pense que c'est beaucoup trop cher.

Finalement, on a le sentiment que le nivellement est plus réalisé par « nécessité » que par volonté réelle d'économiser l'eau, et ceci quelque soit le type d'agriculteurs.

Partie 4 : Résultats de quantification des économies d'eau à la parcelle

Puisque que la même méthodologie n'a pas été suivie pour les 2 types d'innovation et que les économies d'eau ne sont pas du même type, nous avons fait le choix de séparer les résultats du semis direct et du nivellement laser. Cependant, dans les deux cas, les économies seront quantifiées en terme de lame d'eau appliquée. Pour le nivellement, nous calculerons également les efficacités d'application lorsque cela est possible.

A. Economies d'eau grâce au semis direct

1) Méthodologies rejetées

Certains moyens de quantification préalablement envisagés ont été abandonnés :

- ❖ Une évaluation des économies d'eau à l'échelle du module n'est pas possible pour le semis direct, car comme nous l'avons vu en partie 3, la diffusion de cette technique est trop peu importante pour avoir des répercussions significatives à si grande échelle.
- ❖ Ayant effectué de façon préliminaire une localisation des parcelles en semis direct, nous avons cherché à mettre en évidence, d'après les relevés des *canaleros*, une évolution des lames d'eau consommées après conversion au semis direct. Ceci n'a été possible qu'au sein du module d'Irapuato, et l'imprécision des temps et débit était telle qu'aucun résultat significatif n'a été obtenu.

1) Données préliminaires

Les différents entretiens réalisés nous ont apportés les bases suivantes :

Le semis direct permettrait des économies d'eau, soit près de 20 % de volume ou une irrigation en moins sur un cycle agricole. Cependant, cela dépend du type de semis direct réalisé (résidus exportés ou non), du type de sol considéré et de la maîtrise technique de l'irrigation (car sans modification des pratiques, l'irrigation peut être ralentie par la présence des résidus).

Finalement, l'interaction semis direct / eau s'avère complexe, et difficile à quantifier de façon universelle.

Un réticent, un *canalero* du module d'Irapuato, est persuadé que ceci est une vaste supercherie, et qu'aucune économie n'est possible.

2) Résultats en conditions d'expérimentales – Cycle OI

Etudier les impacts du semis direct en conditions expérimentales nous a paru être une première étape indispensable à la quantification en conditions « réelles » des économies réalisables. A l'aide d'un chercheur de l'INIFAP, le Dr. Arreola, il nous a été possible d'avoir accès à deux expériences réalisées sur 2 matrices en parcelles d'agriculteurs situées à Penjamo et Valle de Santiago, en céréales de cycle OI. L'expérience mise en place ce cycle est la première d'une série réalisée sur plusieurs cycles agricoles.

Ces expérimentations entrent dans le cadre d'une étude focalisée sur 2 thèmes :

- Impact de diverses rotations de cultures utilisant notamment des cultures alternatives aux céréales, comme le pois chiche.
- Etude de l'influence des systèmes de semis direct sur couvert végétal sur les pratiques de fertilisation et d'irrigation.

Nous focaliserons notre analyse sur les résultats en matière d'irrigation.

a. Fondements du dispositif expérimental

Nous nous intéressons ici à l'impact du semis direct en cycle OI, pour un système maïs-blé à Valle de Santiago, et maïs-orge à Penjamo.

- Facteurs testés

3 facteurs ont été pris en compte lors de cette expérience :

- La préparation du sol, à savoir labour traditionnel et semis direct
- La gestion des résidus : brûlis, résidus empaquetés (30% restant sur la parcelle) et résidus
- Irrigation à la raie (largeur 80cm) ou en planche (largeur 1 m 60)

4 traitements ont ainsi été testés :

T1 : Labour traditionnel en OI, après semis direct sur résidus brûlés en PV. Il s'agit d'un témoin correspondant aux pratiques traditionnelles du Bajío, comme nous l'avons déjà dit.

T2 : Semis direct sur résidus exportés pour chaque cycle de culture, irrigation en planches.

T3 : Semis direct sur 100% des résidus pour chaque cycle de culture, irrigation en planches.

T4 : Semis direct sur 100% des résidus pour chaque cycle de culture, irrigation à la raie.

Les mêmes dispositifs expérimentaux ont été utilisés dans les 2 cas. Le schéma du dispositif est présenté en annexe 28.

On note que le traitement 4, à savoir l'irrigation par raies, représente le mode d'irrigation le plus courant dans le Bajío. On montrera donc un intérêt plus particulier à l'étude de ces résultats.

b. Matériel et méthode

Nous allons présenter la méthodologie d'évaluation des lames d'eau appliquées à chaque traitement.

- **Dispositif d'irrigation**

Etant donné la taille de la matrice, deux tours d'eau seront mis en place pour l'irrigation du dispositif expérimental total.

Dans le cas de Penjamo comme de Valle de Santiago, le tour d'eau est organisé de la façon suivante : l'expérience de rotation de culture, ainsi que les traitements 3 et 4 sera irrigué en premier. Le front d'irrigation sera dans un deuxième temps déplacé sur les traitements 1 et 2.

L'irrigation de la matrice se fait grâce à de l'eau provenant d'un puits ; la présence d'un compteur permet de lire directement le volume d'eau pompé, en effectuant deux lectures, avant et après irrigation ; connaissant d'autre par le temps d'irrigation par tour d'eau, on calcule alors le débit d'arrivée d'eau à la parcelle dans chaque cas.

Cependant, le dispositif de Valle offre plus de précision : la présence de tubes à vannettes permet de connaître de façon précise le temps d'irrigation pour chaque traitement, alors que le dispositif de Penjamo permet seulement d'évaluer les temps d'irrigation par tours d'eau.

Dans ce dernier cas, les doses d'irrigation à apporter par irrigation seront déterminées à partir des mesures d'humidité résiduelle du sol, en calculant une dose objectif. Pour Valle, seule la première irrigation de semis sera issue des résultats de lecture du compteur, associée au temps d'irrigation par traitement. Pour les autres irrigations, la méthode de calcul sera également basée sur l'humidité résiduelle avant irrigation. Dans les 2 cas, une estimation de l'efficacité d'application sera faite, en connaissance du type de sol : on considèrera que 25% d'eau sera perdue par percolation profonde ou ruissellement.

Le choix de raisonner sur les humidités résiduelles a été réalisé à des fins de rigueur vis-à-vis de l'objectif de l'expérience, à savoir l'étude de l'amélioration du bilan hydrique dans un système de semis sur couvert végétal. On ne s'intéresse ici qu'à l'effet « présence du paillis » sur la

quantité d'humidité du sol et donc les lames d'irrigation requise. Les facteurs pertes par ruissellement et percolation seront considérés comme homogène d'une parcelle à l'autre, d'où une valeur d'efficacité d'application homogène.

- **Calcul des lames d'eau d'irrigation**

Irrigation de semis – Cas de Penjamo

On connaît le volume d'eau consommé, sachant que n'est prise en compte que la phase d'avancement (temps compris entre le début de l'application et l'arrivée de l'eau en bout de raie).

Cette méthode de lecture directe sera utilisée pour l'irrigation de semis.

On connaît de plus la superficie de chaque traitement, sachant que la longueur de la matrice est de 81 mètres.

- Lorsque l'irrigation se fait par planches (Traitement 1 à 3), la largeur d'un traitement est de 9 planches, soit 14,4 mètres.

- Dans le cas du traitement 4, où l'irrigation est à la raie, le traitement est large de 18 raies, soit de même 14,4 mètres.

Dans tous les cas, chaque unité expérimentale, ou traitement, a donc une superficie de 1166,4 m².

On obtient donc facilement la lame d'eau de première irrigation, en fonction du traitement.

Autres irrigations

Pour calculer la dose d'irrigation requise, on utilisera la formule de la dose objectif (ou lame d'irrigation requise) définie précédemment :

$$LR = (Hcc - Hr) * da * zc$$

Calcul de Hcc

Les données de texture des sols des deux matrices expérimentales ont été mesurées par le laboratoire de l'INIFAP. On en déduit la valeur de Hcc.

	Horizon (cm)	Hcc (%)
Essai blé – Valle	0-15	37,6
	15-30	39,5
	30-60	40,7
Essai orge - Penjamo	0-5	40,27
	5-15	39,99
	15-30	39,53
	30-60	39,07

*Valeurs de Hcc pour chaque essai
(Laboratoire INIFAP, 2004)*

L'évaluation de l'efficacité d'application à 75% nous permet d'obtenir une dose à appliquer finalement égale à **LR / 0,75**.

c. Résultats

Les résultats de mesure d'humidité résiduelle avant chaque irrigation se trouvent en annexe 29. On ne présentera ici que les valeurs de lames d'eau, exprimées en cm, obtenues pour chaque traitement. Les résultats sont présentés par irrigation, puis sur la totalité du cycle. Sont également calculés et présentés ci-dessous les valeurs des économies réalisées en pourcentage de la lame d'eau appliquée par rapport au traitement traditionnel (Une valeur négative indiquera donc que la lame d'eau du traitement considérée a été supérieure à celle du traitement traditionnelle T1).

- **Essai blé – Valle**

	Irrigation 1		Irrigation 2		Irrigation 3		Irrigation 4	
	Lames d'eau	% T1	Lames d'eau	% T1	Lames d'eau	% T1	Lames d'eau	% T1
T1	15,81		13,02		16,15		18,45	
T2	17,89	- 13,2	9,89	24	15,41	4,6	17,89	3
T3	10,96	30,7	9,80	24,7	15,96	1,1	14,6	20,9
T4	11,36	28,1	8,51	34,6	12,83	20,5	13,4	27,4

Fig. – Valeurs des lames d'eau par irrigation et % d'économies par rapport à T1, Essai blé Valle

Finallement, on obtient sur le cycle entier :

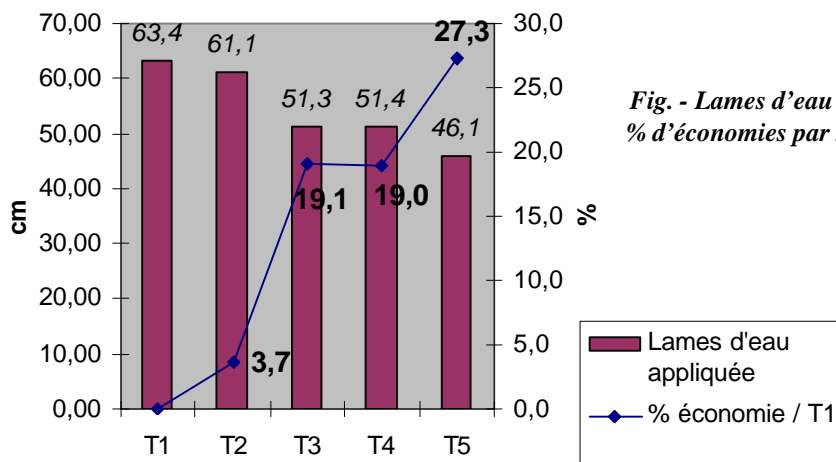


Fig. - Lames d'eau appliquées par traitement et % d'économies par rapport à T1, Essai blé Valle

- **Essai orge – Penjamo**

	Irrigation 1		Irrigation 2		Irrigation 3	
	Lames d'eau	% T1	Lames d'eau	% T1	Lames d'eau	% T1
T1	13,59		13,55		17,51	
T2	13,42	1,2	11,97	11,7	16,46	6
T3	10,29	24,3	11,79	13	15,66	10,6
T4	10,39	23,5	11	18,8	10,56	39,7

Soit sur le cycle total :

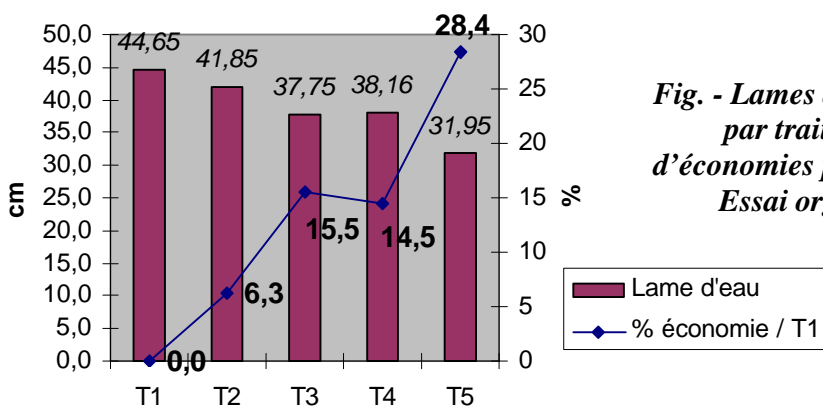


Fig. - Lames d'eau appliquées par traitement et % d'économies par rapport à T1, Essai orge Penjamo

c. Conclusions

- La comparaison des traitements T2 et T3 nous permet d'analyser l'influence unique du facteur exportation des résidus. Dans le cas de l'orge comme du blé, le traitement T3 est moins consommateur d'eau : 16% dans le cas du blé, 9,8% dans le cas de l'orge. Ceci illustre l'importance de l'effet paillis : la conservation de l'humidité est beaucoup plus importante en présence d'un couvert végétal.

- Cependant, même lorsque les résidus sont exportés en grande partie, on a tout de même une amélioration de la conservation de l'humidité dans le sol, et donc une diminution de la lame d'eau apportée. Ceci est plus flagrant dans le cas de l'orge de Penjamo, où l'on obtient tout de même une économie de 6,3% par rapport au système traditionnel. On peut penser que le simple facteur travail du sol a également son influence propre en terme d'économie d'eau, et notamment lorsque l'on sait qu'un labour provoque un assèchement du sol plus avancé.

- La comparaison des traitements T3 et T4 n'est pas directement liée à notre étude, mais est intéressante d'un point de vue : on cherche ici à mettre en évidence, dans un système en semis direct sur couvert végétal, car connaît peu de chose sur la conduite d'irrigation la plus appropriée à la présence d'un couvert végétal.

Les résultats montrent que les plus grosses économies réalisées le sont dans les deux cas avec un système raies. Une interprétation plus poussée nécessiterait une étude approfondie de l'influence du dessin des systèmes d'irrigation sur le système plante-sol-atmosphère.

- Finalement, le résultat le plus intéressant est celui obtenu pour le système d'irrigation à la raie, associé à un semis direct avec couverture végétale complète.

Les résultats montrent que par rapport au système de préparation traditionnelle en cycle OI, une économie (en terme de hauteur de lame d'eau) de **27,3%** peut être réalisé, contre **28,4%** pour l'orge. Dans la problématique actuelle de réduction de l'eau d'irrigation, ceci est un résultat intéressant. Nous verrons ensuite que ce résultat n'est pas à prendre « tel quel », une économie à la parcelle ne signifiant pas forcément une économie à l'échelle du bassin versant.

Nous allons maintenant voir si en conditions « non expérimentales », les mêmes conclusions peuvent être données.

2) Résultats suivi d'irrigation à la parcelle – Cycle PV

Comme il a été dit dans la méthodologie, nous avons eu la chance de pouvoir comparer une irrigation en conditions réelles, entre 2 parcelles côtes à côtes, l'une en labour traditionnel et l'autre en semis direct sur 100% des résidus. Ce suivi a été mis en place pour une culture de sorgho semé le 10 mai.

a. Matériel et méthodes

- **Données générales**

Nous avons effectué une mesure de surface et obtenu les valeurs de 3 hectares très précisément pour les 2 parcelles.

Le sol possède la texture classique des sols de la région : sol argileux avec une teneur proche de 50% en argile.

L'irrigation de semi a eu lieu le 11 mai. Les deux parcelles ont suivi les mêmes traitements en matière d'herbicides et de fertilisants.

- **Dispositif d'irrigation**

Nous avons fait le choix d'une parcelle irriguée par de l'eau de puits, pour les raisons que nous avons évoqué antérieurement. Ce puits est de 8 *pulgadas* (pouces), ce qui correspond en théorie à 64 L / s. Pour tenir une idée des pertes par évaporation et conduction dans la *regadora* existante, du fait de l'éloignement des parcelles par rapport au puits (Cf. annexe 30), le propriétaire avait récemment réalisé une mesure du débit à l'entrée de ces parcelles, et obtenu la valeur de 50 L / s.

Nous avons souhaité refaire cette mesure, pour plus de précisions, mais l'arrivée précoce de la saison des pluies a fait que la *regadora* n'a pas été remplie après la première irrigation. Aucune mesure de débit n'a donc été possible. Nous nous sommes donc basés sur la valeur de 50 L/s. Cela a finalement peu d'importance, car le but de ce suivi est d'effectuer une comparaison, et la précision des valeurs de lames d'eau est donc secondaire, étant donné que la même marge d'erreur est introduite dans les 2 cas.

L'irrigation a été réalisée par un *regador*, et ici aussi, on ne considère que la phase d'entretien de l'irrigation : en effet, le temps relevé est celui nécessaire à l'arrivée de l'eau en bout de raie. Elle s'effectue en 2 tours d'eau par parcelle.

- **Calcul des lames d'eau**

Finalement, la lame d'eau sera calculée ainsi :

$$L \text{ appliquée (cm)} = \text{Débit (L / s)} * \text{Temps (h*3600)} * 10^{-5} / \text{Surface (ha)}$$

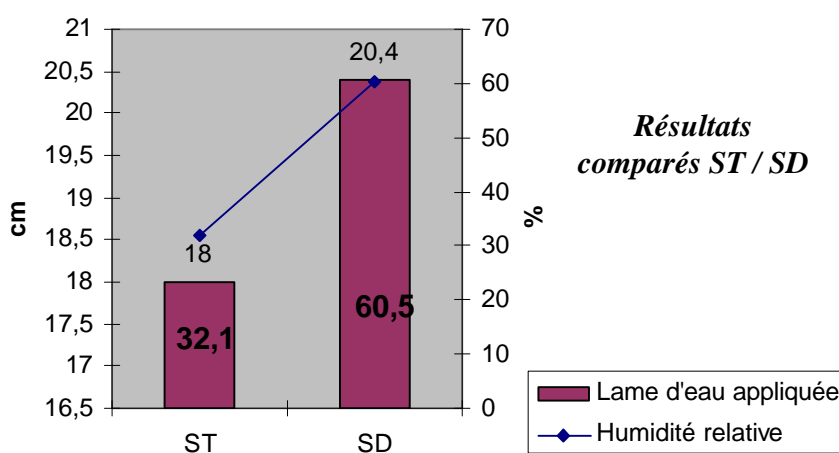
- **Mesures d'humidité**

Pour aller plus loin dans notre interprétation, une mesure d'humidité pondérale contenue dans des 2 échantillons prélevés au sein des 2 parcelles a été réalisée 38 jours après l'irrigation.

b. Résultats

Comme nous l'avons déjà dit, une seule irrigation a été réalisée, du fait de l'arrivée précoce de la saison des pluies.

Finalement, on obtient les résultats suivants :



c. Conclusions

- La parcelle en semis traditionnelle montre une consommation d'eau inférieure à celle en semis direct sur résidus. Ces résultats semblent étonnants, et peu cohérents avec ce qui a été dit

précédemment. Ce phénomène de « surconsommation » d'eau est cependant très courant dans la mise en pratique du semis direct. En effet, la présence de pailles ralentit considérablement l'avancée de l'eau, et les temps d'irrigation sont légèrement plus importants en première irrigation. Ici, le traitement semis direct consomme environ 12% d'eau en plus que le traitement semis traditionnel. On peut de plus penser que ceci concerne principalement la première irrigation, car ensuite la dégradation du paillis n'est plus un obstacle réel à l'écoulement de l'eau.

Cela pourrait être un élément d'explication au fait que beaucoup de producteurs exportent les résidus.

- Cependant, le fait important reste la présence d'une forte humidité résiduelle au sein de la parcelle en semis direct, 38 jours après la première irrigation. Sachant qu'en période de préfloraison, l'irrigation du sorgho se fait idéalement lorsqu'il reste 30% d'humidité résiduelle, on peut penser qu'en cas d'arrêt des pluies, une autre irrigation aurait été nécessaire pour l'essai labour traditionnel, alors que l'essai semis direct sur couvert végétal aurait pu supporter une période de sécheresse plus longue.

On peut extrapoler ceci à une situation courante dans l'agriculture du Bajío : On sait qu'une des incertitudes climatiques importantes est l'arrivée incertaine des pluies. Lorsque le semis de PV est réalisé à une date moyenne, c'est-à-dire durant la 1^{ère} quinzaine de mai, et que la saison des pluies arrive tardivement, une longue période de sécheresse peut se faire sentir. Il est alors nécessaire de procéder à 2^{ème} irrigation, pour ceux qui le peuvent. Les résultats obtenus nous montrent que le semis direct sur résidus, même s'il peut être plus consommateur en 1^{ère} irrigation, peut permettre de limiter l'incertitude liée à l'arrivée des pluies, et aboutir à l'économie d'une irrigation.

Pour aller plus loin en ce qui concerne la présence des résidus pouvant gêner l'écoulement de l'eau, il faut préciser que différents moyens ont été observés sur le terrain ou cités lors des enquêtes pour limiter ce phénomène :

- ❖ Tout d'abord, l'augmentation du débit en tête de raies, par exemple en raccourcissant les largeurs de fronts d'eau, constitue une première solution. Le raccourcissement des raies pourrait permettre une augmentation de la vitesse d'avancement, et surtout en bout de parcelle. Ceci dit, les enquêtes nous ont également montré que les agriculteurs ne jouent pas forcément sur ces paramètres (Et surtout parce que cela demande plus de travail semble-t-il).

- ❖ Il existe des équipements permettant un broyage des pailles sur la parcelle. L'accès à la mécanisation est cependant un facteur limitant.

- ❖ Certains agriculteurs ont développé des systèmes relativement ingénieux : A l'aide d'un équipement particulier, ils rassemblent les pailles contenues dans 3 raies voisines sur une seule raie. Ainsi, ils font passer l'eau dans 2 raies sur 3, et il n'y a pas de problème d'écoulement (Cf. annexe 31).

Rq : Il aurait été sans doute plus représentatif de faire ce suivi sur une parcelle en semis direct sur brûlis, correspondant comme nous l'avons vu, à la forme de préparation la plus répandue. Cependant, on peut penser que les résultats seraient allés dans le même sens, étant donné que l'effet principal révélé ici est l'effet du paillis. En outre, le fait de brûler un sol pendant plusieurs années dégrade considérablement sa structure, le rendant très dur. Or tout le monde s'accorde à dire qu'une irrigation sur un sol brûlé révèle des pertes par ruissellement très importantes, « l'eau courant beaucoup plus vite », et que l'infiltration est quasiment nulle. L'irrigation est donc rapide, mais peu efficace, car peu d'eau est finalement disponible pour la culture.

3) Résultats enquêtes

Au moment de la réalisation des enquêtes, il a été clairement précisé aux agriculteurs réalisant à la fois semis direct et nivellement laser de séparer les effets induits par chaque innovation, dans la mesure du possible.

a. Cycle OI

En cycle OI, les effets sont relativement clairs :

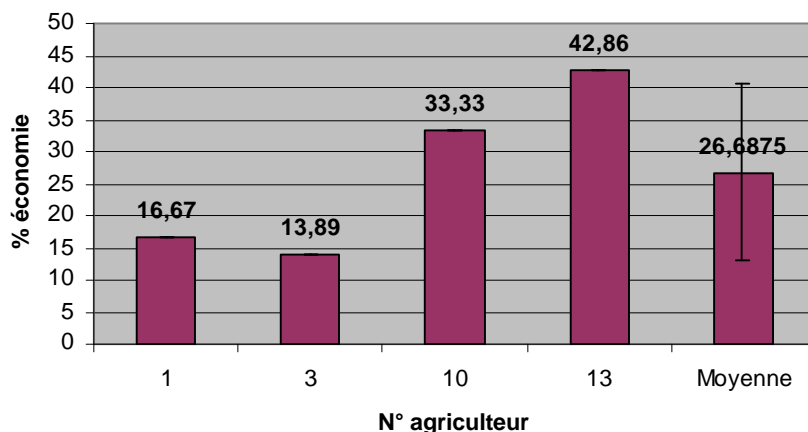
Nombre d'irrigations – Influence du type d'accès à l'eau

- 3 agriculteurs sur 4 précisent que leur conversion au semis direct n'a pas entraîné de diminution du nombre d'irrigation. Il faut cependant préciser que ces agriculteurs ont un accès principal à l'eau de canal, avec auxiliaire par puits en société. Comme nous l'avons dit, peu de flexibilité est possible dans le choix des dates d'irrigation.
- Le quatrième agriculteur possède un puits individuel ainsi qu'un accès à l'eau de canal. Il sépare clairement ces deux situations : dans le cas où ses parcelles sont irriguées par l'eau de puits, il peut espacer les irrigations de 50 à 55 jours : cela lui permet l'économie d'une irrigation sur le cycle. Pour les parcelles irriguées par eau de canal, cette flexibilité n'est pas permise et le nombre d'irrigation reste celui imposé par le module.

Economie en terme de volume

Lors des enquêtes, il a été demandé aux agriculteurs de préciser, sur l'exemple d'une parcelle en semis direct, le temps d'irrigation ainsi que le débit utilisé (Approximation dans le cas de l'eau de canal).

Finalement, il existe une économie d'eau, en terme de diminution des lames d'eau apportées, comme le montrent les résultats suivants.



*Diminution des lames
d'eau consommées,
semis direct cycle OI*

Finalement, on obtient une économie de plus de 25% sur le cycle. Il faut cependant être prudent du fait de la grande variabilité obtenue : Par exemple, l'agriculteur 13 n'a pas pu vraiment séparer les effets semis direct et nivellement. Beaucoup précisent que ceci a été progressif (au bout de 2 ans).

On peut noter qu'aucun agriculteur ne cite d'augmentation des temps d'irrigations dus à la présence de pailles dans les raies.

b. Cycle PV

En cycle PV, les économies d'eau semblent conditionnées par l'arrivée des pluies.

Nombre d'irrigations

Tous les producteurs interrogés réalisent une seule irrigation en PV depuis leur conversion au semis direct. Mais plusieurs cas de figure se présentent quant à la situation avant semi direct :

- Les 2 seuls agriculteurs ayant seulement accès à l'eau de canal ne réalisaient la plupart du temps qu'1 seule irrigation en PV (1 deuxième irrigation était possible en cas d'arrivée tardive de la saison des pluies, lorsque le module d'Irapuato achetait de l'eau à celui d'Acambaro).
- Pour les autres, le nombre d'irrigations varie de 1 à 2 en cas d'arrivée des pluies normales, et peut aller jusqu'à 3 sinon.

On aurait donc une économie possible de 1 à 2 irrigations grâce à la conservation de l'humidité permise par le semis direct.

Volumes d'eau utilisés

Si le semis direct permet une économie d'eau en nombre d'irrigations, il n'en est pas de même pour les volumes utilisés.

Pour 8 agriculteurs, il y aurait eu une augmentation du volume consommé par la première irrigation, avec en moyenne 42% de volume consommé en plus. Cependant, là aussi les résultats sont très variables, compris entre 16,7 et 100% (Ecart type = 30).

On remarque que cela ne peut pas être associé cela à la non exportation des résidus, contrairement à ce que l'on aurait pu croire.

2 agriculteurs précisent qu'avec le labour, la terre est moins dure et moins fissurée : l'eau pénètre plus vite dans les pores, et l'irrigation est plus rapide.

De même, d'autres émettent une comparaison avec le brûlis : dans ce cas, la terre est tellement dure que l'eau « court » sans pénétrer.

Parmi ceux qui ne signalent pas d'augmentation, on retrouve les agriculteurs réalisant le semis direct au cours des 2 cycles : on peut penser qu'ils possèdent le matériel nécessaire (moulineuse, éparpilleur) à une meilleure gestion dans ces conditions. On peut également émettre l'hypothèse qu'il y a eu une confusion d'effet pour certains entre semis direct et nivellement.

c. Conclusions

- Ceci constitue plus une évaluation qu'une quantification précise :

Dans certains cas, les agriculteurs ne connaissent pas précisément les temps d'irrigation, car ce sont leurs employés qui gèrent l'irrigation.

Dans le cas de l'eau de canal, on retombe sur l'imprécision de l'évaluation des débits en tête de parcelle (Le producteur considère souvent qu'il est égal à 50 L/s).

- Les économies réalisables ne sont pas forcément perceptibles en cycle PV, en cas d'arrivée précoce des pluies
- L'effet « long terme » du semis direct n'a pas vraiment pu être mis en évidence ici. Il a juste été évoqué par quelques producteurs.
- On a pu mettre en évidence une nature des économies différentes en fonction du type d'accès à l'eau.

B. Economies d'eau grâce au nivellement laser

1) Méthodologies rejetées

En ce qui concerne le nivellement laser, les approches « conditions expérimentales », et suivi à la parcelle ont été abandonnées, faute de données ou moyens disponibles.

2) Données préliminaires

- Les différents entretiens (INIFAP, SdRL, ASOSID, Module Irapuato) réalisés nous ont permis de tenir une première idée des économies réalisables grâce au nivellement laser. Tous s'accordent à dire qu'une économie de 20 à 30% d'eau en volume est possible. Comme nous l'avons déjà dit, cela dépendrait directement de l'état du terrain avant nivellement. Cependant, le nivellement pourrait permettre d'atteindre des efficacités d'application proche de 75%, et ceci de façon immédiate.

- **Enquêtes SDA**

Le SDA a réalisé un suivi de la consommation de 2 puits et 1 pompage irrigant des parcelles nivelées, afin d'évaluer l'impact en terme d'économies d'eau du programme d'Etat « Nivellement des terres ». Entre 40 et 50% d'économies d'eau seraient possibles grâce au nivellement.

3) Evolution des lames d'eau à l'échelle du module

a. Méthodologie

Nous avons mis en évidence l'existence de modules où le nivellement laser est très développé. Nous avons alors émis l'hypothèse qu'une diminution des volumes consommés devait être visible à cette échelle.

Choix de l'indicateur

- L'indicateur le plus pertinent pour effectuer ce travail nous a paru être le pourcentage de réalisation entre lame d'eau programmée et lame d'eau réalisée.

En effet, on se base sur le fait que les programmations des lames d'eau brutes (au niveau des sources d'approvisionnement) et nettes (au niveau parcellaire) soient évaluées principalement en fonction du remplissage du barrage Solis et d'une estimation des surfaces qui vont être cultivées. Ainsi, et cela a été confirmé au cours d'entretiens, la technification d'un module ne serait absolument pas prise en compte. Ainsi, l'amélioration de l'efficacité de l'usage de l'eau au sein d'un module aurait des conséquences directes sur cet indicateur : les lames d'eau réellement utilisées seraient inférieures aux lames d'eau programmées.

- Pour compléter ceci, nous calculerons également l'efficacité d'application en cycle OI 2003-2004 du module Valle de Santiago pour la comparer à celle d'Irapuato (Sachant que la répartition des cultures est très similaire entre ces 2 modules).

Cela n'est valable que si l'on peut faire l'hypothèse que le nivellement laser est actuellement l'innovation à la parcelle la plus répandue, et qu'il sera donc l'effet « principal ». Ceci s'avère vrai, car très peu de surfaces sont technifiées (On pense notamment au goutte à goutte et à l'aspersion, dans le cas de l'application), d'autant qu'on s'intéresse ici à l'eau superficielle.

Choix des modules

Nous nous sommes intéressés à aux modules d'Irapuato et Valle de Santiago, où respectivement 10 et 60% des terres sont nivelées (Cf. Partie 2). On obtient ainsi 2 situations bien contrastées.

Méthode de calcul

Nous disposons d'un relevé de la SdRL précisant pour les 2 modules considérés les valeurs suivantes :

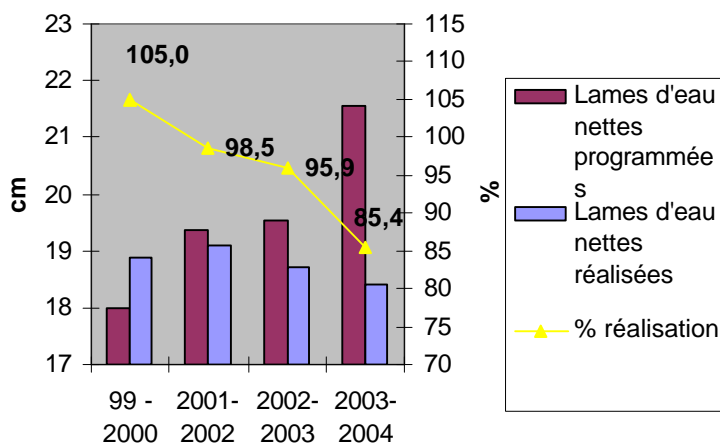
- Surfaces programmées et réalisées
- Volumes bruts programmés et réalisés
- Volumes nets programmés et réalisés

• On obtient donc facilement les lames d'eau nettes programmées et réalisées. Le pourcentage de réalisation s'exprime alors comme le rapport lame réalisée / programmée.

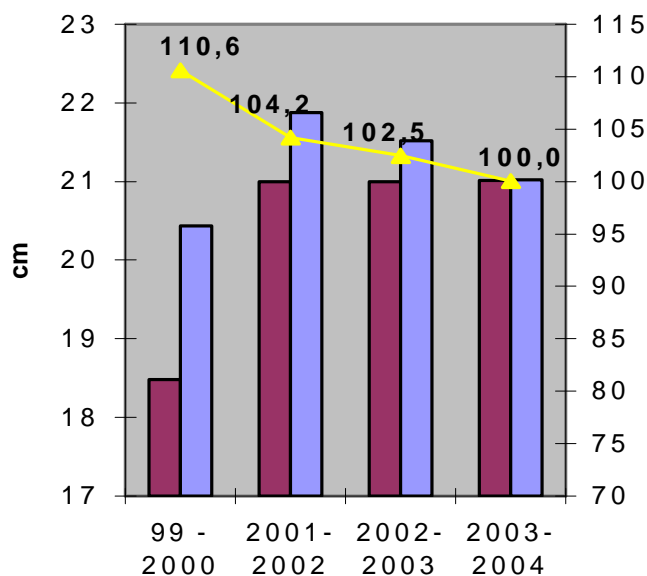
On s'intéressera uniquement au cycle OI, les valeurs de lames programmées en cycle PV étant parfois aberrantes à Valle de Santiago. Les résultats présentés concernent les années agricoles 99-2000 à 2003-2004.

- Pour l'efficacité d'application, la méthode de calcul a été précisée précédemment.

b. Résultats

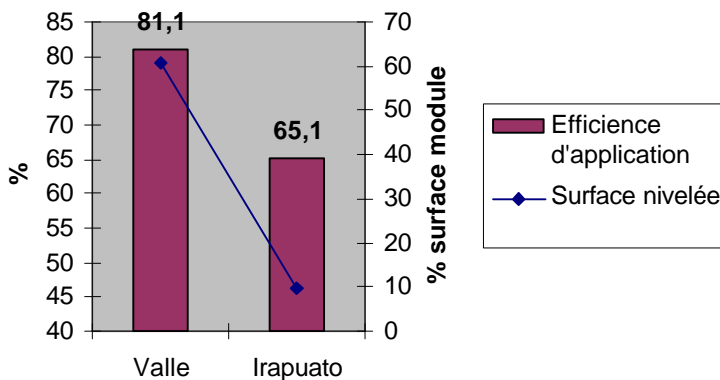


Module Valle



Module Irapuato

- Comparaison des efficacités d'application



Comparaison des efficacités d'application des 2 modules étudiés

c. Conclusions

- Dans le cas du module Irapuato, le pourcentage de réalisation est toujours supérieur ou égal à 100 sur les 4 années considérées. Ceci signifie que les volumes d'eau consommés en réalité sont soit supérieurs soit égaux aux volumes qui ont été programmés avant chaque cycle agricole.

A Valle de Santiago, on assiste à une baisse relativement régulière de cet indicateur, pour atteindre la valeur de 85% en OI 2003-2004. On peut donc penser, d'après ce qui a été précisé précédemment, que près de 15% d'eau en volume a été économisé et ceci principalement grâce au nivellement.

Ces résultats peuvent être interprétés en terme de tendance, mais il ne faut pas oublier que d'autres facteurs que le nivellement peuvent également avoir une valeur explicative. Il est en effet difficile à cette échelle d'« isoler l'effet nivellement », mais on peut penser tout de même qu'il est prépondérant.

Enfin, on aurait pu établir une corrélation entre cette diminution et l'augmentation des surfaces nivelées, afin d'en sortir un chiffre d'économie d'eau à l'hectare. Cependant, il nous a semblé que cette démarche n'aurait pas été très rigoureuse.

On peut donc conclure en disant qu'une généralisation du nivellement entraîne effectivement une baisse des volumes d'eaux consommés.

- Les résultats d'efficacité iraient dans ce sens : Un module « innovateur », comme Valle de Santiago, montrerait une efficacité d'application élevée par rapport à Irapuato. Cependant, les valeurs obtenues paraissent relativement élevées, quand on sait que l'efficacité d'application est plus proche de 50% dans le Bajío. Là encore, la fiabilité des données ne permet pas une quantification, mais simplement de décrire un phénomène.

4) Evaluation des lames d'eau à l'échelle de la parcelle

a. Méthodologie

Collecte des données

Nous avons vu dans la partie précédente que nous nous étions intéressés au module de Huanimaro du fait de l'existence d'une dotation volumétrique, et donc de données de contrôles à la parcelle potentiellement plus précises.

A l'aide du responsable du nivellement et de l'hydrométricien du module, une étude des lames d'eau consommées pour 5 parcelles nivelées a été réalisée. Nous avons pour cela choisi ces 5 parcelles, en sélectionnant des dates de réalisation du nivellement différentes.

Les 5 parcelles ont les caractéristiques suivantes :

- Parcelle 1 : Rotation orge/sorgho - 2,6 ha – Nivellement en novembre 2002
- Parcelle 2 : Rotation orge/sorgho - 2,05 ha – Nivellement en avril 2003
- Parcelle 3 : Rotation orge/sorgho – 3,25 ha – Nivellement en novembre 2001
- Parcelle 4 : Rotation orge/sorgho - 2,15 ha – Nivellement en avril 2002
- Parcelle 5 : Rotation orge/sorgho - 2,37 ha – Nivellement en avril 2003

Nous avons ensuite collecté toutes les données de consommations depuis le cycle PV 99 jusqu'à l'année agricole 2003-2004.

Interprétation des données

Nous avons interprété ces données de 2 façons :

- En terme d'évolution à la parcelle, en cherchant à mettre en évidence un contraste avant / après nivellement. Pour cela, nous représenterons pour chaque parcelle l'évolution des lames nettes par cycle et efficacités d'application, avant et après nivellement laser. Pour le calcul des efficacités d'application, nous nous baserons sur les valeurs moyennes du DR 011, en raisonnant sur une seule irrigation pour le cycle PV. La lame d'eau requise est alors évaluée à 11,9 cm. Nous ne montrerons ici que les 2 résultats le plus représentatifs. Les autres sont donnés en annexe 32.

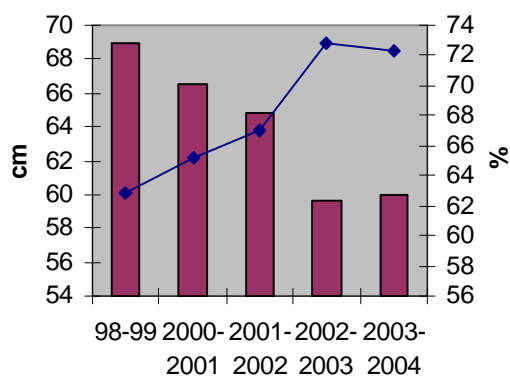
- Ensuite, nous effectuerons ce travail sur le groupe des 5 parcelles prises dans leur globalité. Pour chaque cycle de culture, nous effectuerons une moyenne globale des lames d'eau des parcelles nivelées et non nivelées, sans tenir compte des années, et ceci afin de disposer d'un échantillon de données plus important. Nous effectuerons ceci par agriculteur, puis sur le groupe de parcelle. A chaque fois, le pourcentage d'économies d'eau sera donné.

b. Résultats

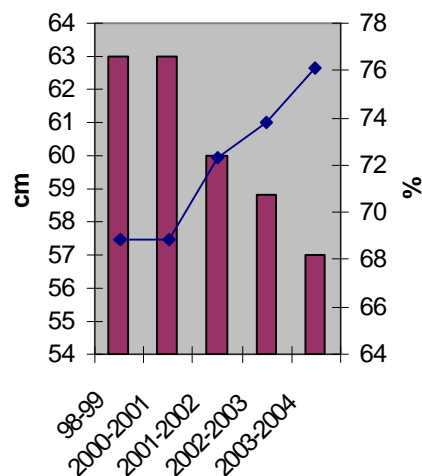
Evolution par parcelle

- Cycle OI

Parcelle 1 - Nivellement nov 2002



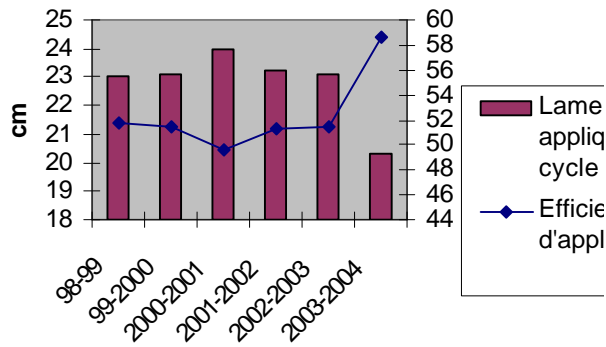
Parcelle 3 - Nivellement nov 2001



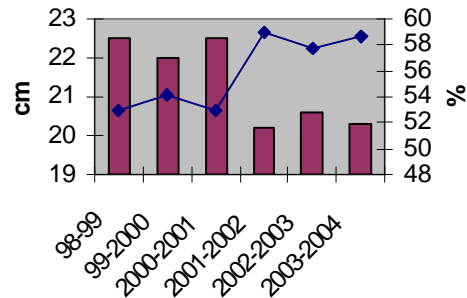
Ces 2 graphiques mettent en évidence une diminution des lames d'eau utilisées après nivellement. Dans les 2 cas, on arrive à des efficacités d'application relativement élevées, de 72% pour la parcelle 1 à 76% pour la parcelle 3.

- Cycle PV

Parcelle 5 - Nivellement en avril 2003

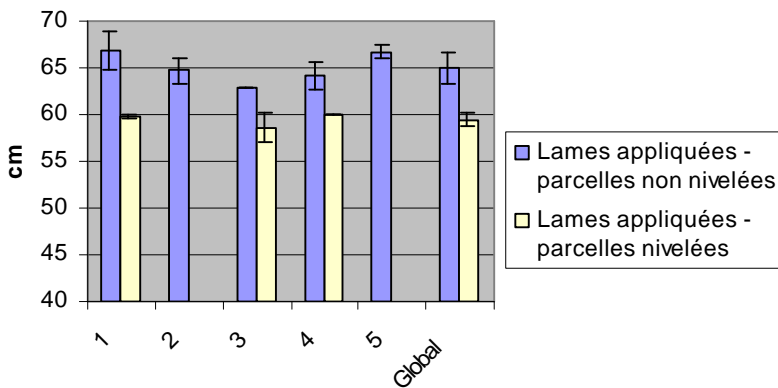


Parcelle 3 - Nivellement en novembre 2001

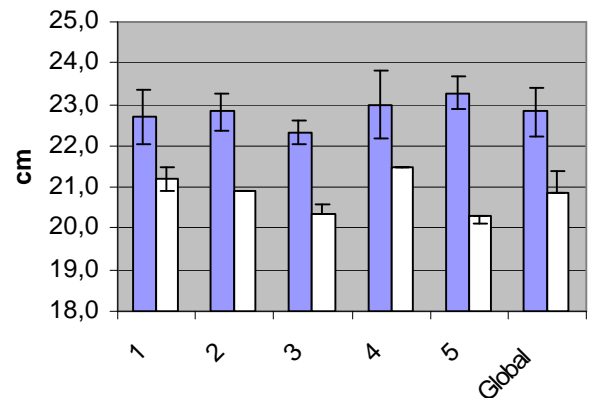


Ici aussi, une différence est visible au niveau des lames d'eau et donc des efficacités d'application. L'efficace atteint ainsi des valeurs de 58,6% dans les 2 cas.

Comparaison globale



Cycle OI



Cycle PV

Les résultats globaux confirment ce qui a été vu plus haut : il y a une différence entre lames appliquées sur parcelle nivelée et non nivelée. Cette économie prend des valeurs s'échelonnant de 6,4 à 10,5%, soit une économie globale sur le groupe de 8,6% pour le cycle OI. En cycle PV, les économies prennent des valeurs assez hétérogènes, allant de 6,5% à 12,8%. Globalement, on retombe sur le même résultat qu'en cycle OI, à savoir une économie de 8,64%.

c. Conclusions

- Ces relevés à la parcelle nous permettent de mettre en évidence une moindre consommation d'eau due au nivellement, contrairement aux relevés d'Irapuato, évaluations grossières basées principalement sur le facteur surface irriguée.

- De plus, bien que ceci ne soit pas évident dans tous les cas, on peut mettre en évidence l'effet immédiat du nivellement : on distingue clairement l'avant et l'après nivellement, ce qui le différencie du semis direct, où nous avons vu que l'effet était plus progressif (même si un effet immédiat dû au paillis semble exister).

- Cependant, on pourra s'étonner des valeurs relativement faibles des économies réalisées à la lumière de ce que nous avons dit précédemment. On pourra penser à deux explications :

D'une part, comme nous l'avons dit en partie 3, les *canaleros* du module de Huanimaro ont du mal à réaliser les 3 mesures quotidiennes de débit à la parcelle, imposées en théorie. Ceci implique une fiabilité partielle des données utilisées.

D'autre part, il est possible qu'un agriculteur réalisant un nivellement ne prenne pas totalement en compte l'économie de temps réalisable, et applique des quantités d'eau supérieures au nécessaire, ne modifiant pas totalement ses pratiques.

Cependant, l'analyse de ces relevés constitue le seul moyen de retracer une évolution sur plusieurs cycles agricoles à l'échelle de la parcelle, et on peut donc regretter ce manque de précisions des enregistrements, qui rend toute quantification difficile.

- Cependant, on peut penser qu'un résultat important est l'atteinte d'une efficacité proche de 70%, résultat cependant visible uniquement en cycle OI (Là encore, on a des efficacités bien inférieures en PV). Cette valeur de 70% semble être relativement raisonnable, compte tenu de ce qui a été dit précédemment.

5) Résultat des enquêtes

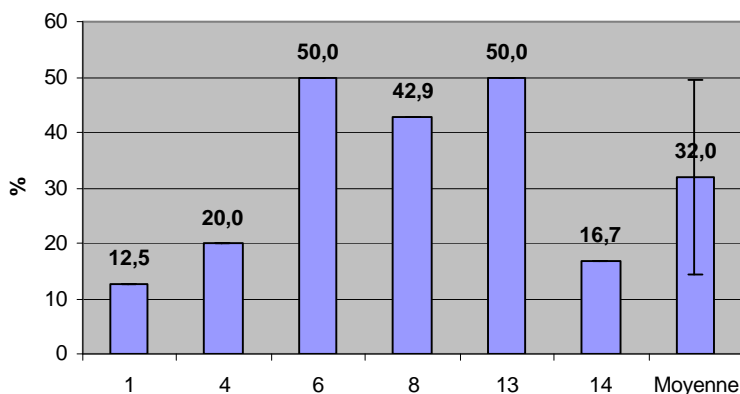
Les enquêtes montrent des résultats relativement homogènes.

a. Nombre d'irrigations

En irrigation par puits ou par canal, aucune diminution du nombre d'irrigations n'a été ressentie. Un agriculteur explique qu'il y a eu économie d'au moins une irrigation sur les parcelles à la fois nivelées et à la fois en semis direct.

b. Lames d'eau par irrigation

En ce qui concerne les volumes d'eau par irrigation, tous s'accordent à dire qu'il y a une économie réelle. Le graphique suivant montre par agriculteur la diminution des lames d'eau estimées.



Impact du nivellement laser sur l'évolution des lames d'eau consommées

Cependant, les estimations réalisées par les agriculteurs sont très variables : en effet, les économies d'eau réalisables dépendent directement de l'état du sol avant nivellement. On obtient finalement une moyenne de 30%, ce qui paraît être valable.

c. Conclusions

- Contrairement au semis direct, l'effet du nivellement laser sur les consommations en eau est relativement simple : l'efficacité d'application est améliorée, il y a donc une diminution des volumes consommés par irrigation.
- Quelque soit le type d'accès à l'eau, les économies réalisées seront de même nature.
- Pour les raisons déjà évoquées, ces résultats comportent une imprécision plus ou moins importante. Il est donc difficile d'obtenir une quantification précise. Cependant, l'ordre grandeur obtenu ici paraît cohérent.

C. Conclusions : Bilan sur les économies

- En **semis direct**, des économies d'eau sont réalisées, et leur nature semble dépendre de la flexibilité de l'accès à l'eau :

- En cas d'accès à l'eau de puits individuel, l'irrigation peut être retardée d'une vingtaine de jours, et sur un cycle on a donc possibilité d'économiser une irrigation (cycle OI) ou 1 à 2 irrigations (cycle PV).

- En cas d'accès collectif à la ressource en eau, une diminution de l'ordre de 20% par irrigation est réalisable en cycle OI. En cycle PV, le semis direct permet de ne réaliser qu'une seule irrigation, sans prendre de risque pour la culture.

- Il faut cependant préciser, même si cela n'a été mis en évidence qu'en PV, que la première irrigation semble être plus consommatrice d'eau qu'en semis traditionnel, si les pratiques d'irrigation ne sont pas modifiées. Le fait d'exporter ou non les résidus doit également jouer un rôle.

- Un autre aspect intervient, mais n'a pas pu être mis en évidence ici : l'effet à long terme de l'amélioration de la structure du sol, qui permet une meilleure infiltration de l'eau dans le sol. On pourrait donc penser qu'à long terme, on obtiendrait des économies d'eau plus importantes. Cependant, le semis direct est une technique trop nouvelle dans le Bajío pour pouvoir pour l'instant quantifier cet effet.

- En **nivellement laser**, l'efficacité d'application est considérablement améliorée, pouvant atteindre 75% dans certains cas. Les économies d'eau se font donc en volume par irrigation : la valeur de 30% semble raisonnable quant à la diminution des volumes suite à la réalisation d'un nivellement.

Conclusion

Finalement, on peut prétendre que le semis direct et le nivellement laser peuvent permettre à l'agriculture des réaliser des économies d'eau, et ceci sans remettre en cause la productivité des systèmes agricoles. Cette étude a permis de mettre en avant le fait que ces économies sont de nature différentes, selon le type d'innovations et d'accès à l'eau.

Il faut cependant reconnaître que l'évaluation réalisée en terme de quantification de volumes s'accompagne d'une imprécision due à la difficulté de collecte de données fiables. En effet, et comme nous l'avons souvent précisé, peu de contrôles volumétriques sont réalisés, ou alors ils ne sont que très approximatifs : en situation réelle, la caractérisation précise des économies n'est donc pas aisée.

La voie la plus prometteuse resterait un suivi d'irrigation comparé entre parcelles avec et sans innovations, en prenant en compte différents facteurs : résidus exportés ou non et gestion des résidus laissés sur la parcelle (moulinés ou non) pour le semis direct, prise en compte de l'état de la parcelle avant nivellement. Pour être vraiment valable, cette investigation devrait être réalisée sur un nombre assez élevé de parcelle, dans des conditions de sol différentes, et en réalisant des mesures de débit en entrée de parcelles rigoureuses et fréquentes.

Nous avons également caractérisé le contexte d'adoption des deux innovations étudiées. Nous avons vu que le facteur économie d'eau n'entraîne souvent pas dans les motivations premières des agriculteurs. Comment rendre intéressant pour les agriculteurs le fait de consommer moins d'eau ?

On peut penser que le paiement volumétrique de l'eau resterait le moyen le plus efficace pour faire économiser de l'eau à l'agriculture. En effet, le paiement à l'hectare est peu incitateur à une meilleure gestion de l'irrigation. Cependant, mettre en place un tel système suppose la mise en œuvre de moyens importants. Ceci constitue la prochaine étape que s'est fixée la SdRL, pour une meilleure gestion de la ressource en eau.

Au niveau des modules d'irrigation, améliorer l'efficacité de l'irrigation pourrait s'avérer avantageuse : en effet, des marchés de l'eau, non encore régulés, existent entre modules. Un module qui consommerait moins d'eau que ce que sa concession lui permet pourrait tirer partie de ceci en donnant une valeur marchande à la ressource économisée.

Enfin, il faut quand même souligner le fait qu'une amélioration de l'efficacité de l'usage d'eau à la parcelle n'est pas forcément synonyme d'une économie d'eau à plus grande échelle : à l'échelle du bassin hydrographique, doivent être pris en compte des phénomènes de recyclage : l'eau perdue lors de l'application peut être réutilisée en un autre point du système.

Bibliographie

LEVINE Gilbert , 1999. Entendiendo el comportamiento del riego : la disponibilidad del agua como variable explicativa. IWMI, Serie Latinoamericana : N°6. 64 p.

LEVINE Gilbert, GARCES-RESTREPO Carlos, 1999. El desempeño de los sistemas de riego y sus implicaciones para la agricultura de riego mexicana. IWMI, Serie Latinoamericana : N°11. 37 p.

SILVA-OCHOA Paula, 2000. Unidades de riego : La otra mitad del sector agrícola bajo riego en México. IWMI, Serie Latinoamericana : N° 19. 91 p.

KLOEZEN Wim H., 1998. Evaluación del Desempeño del Riego con Indicadores Comparativos : El caso del Distrito de Riego Alto Río Lerma, México. IWMI, Informe de Investigación : N°22. 42 p.

JOURDAIN Damien, TRIOMPHE Bernard, ARREOLA TOSTADO J. Manuel (2000). Detección de obstáculos y necesidades sobre labranza de conservación. ASOSID, Informe final procto FIRA-CIMMYT, 62 p.

GILLET, V., OLLIVIER, I (2002). Evolution des règles de gestion de l'eau superficielle et souterraine et impact du transfert. Mémoire ESAT2-mastère, CNEARC, Montpellier, 117 p.

SOLLIEC, GOUHRAND (2002). Typologie des arrosants de deux modules d'irrigation. Salvatierra et Irapuato . Mémoire ESAT2-Mastère, CNEARC, Montpellier, 96 p.

CNA (2002). Plan Maestro

MOLLARD Eric, VARGAS Sergio (2003). Démarrer une négociation au Mexique. Jeux d'acteurs et rôle du négociateur dans un espace peu régulé. Negocia, Paris.

MOLLARD Eric, VARGAS Sergio (2003). Le gouvernement de l'eau au Mexique : Légitimité perdue et régulation. 18 p.

VERGEZ Antonin (2003). Etude des pratiques d'irrigation et de fertilisation en système de semis direct sous couvert végétal. Mémoire DAA AGER, INA P-G, 99 p.

SANTA OLALLA MANAS F. Martin, JUAN VALERO J.A (1999). Aplicación del agua con el riego y su evaluación. Universidad Castilla La Mancha, Departamento de producción vegetal y tecnología agraria, 300 p.

FIGUEROA RODRIGEZ Oscar Luis (1999). La adopcion de la labranza de conservacion en los municipios de Valle de Santiago y Jaral de Progreso, Guanajuato. Tesis profesional, Universidad Autonoma Chapingo

DOORENBOS J., PRITT W.O (1974). Guidelines for predicting crop requirements. FAO, Irrigation and Drainage, paper n°24.

GOULET Frederic (2001). Analyse du fonctionnement dessystèmes de culture en zone irriguée au Mexique : le cas du Municipio de Valle de Santiago, Etat du Guanajuato, Mémoire CNEARC, Montpellier, 96 p.

CONGRESO NACIONAL DE IRRIGACION 2003 - Ponencias

Résumé

Depuis quelques années, le plus grand lac du Mexique, le lac Chapala, connaît un assèchement préoccupant. Alors qu'il sert de source d'approvisionnement en eau domestique à la deuxième ville du pays et en eau d'irrigation au pôle agricole du Bajío, l'enjeu de sa préservation est à la fois environnementale, économique et politique : en effet, un accord a été mis en place entre les 5 Etats du bassin versant Lerma-Chapala, visant à réguler la distribution de l'eau, mais celui-ci ne fait pas l'unanimité. Dans ce contexte de conflit d'usage, l'agriculture est montrée comme étant gaspilleuse d'eau : les efficacités des réseaux d'irrigation restent en effet relativement faibles.

Ainsi, cette étude a pour but l'évaluation des économies réalisables par l'agriculture de la zone irriguée du district d'irrigation Alto Rio Lerma. Au sein de systèmes agricoles en perte de rentabilité, des innovations dites de bas coûts ont été introduites : le semis direct et le nivellement laser. Le semis direct implique un changement des systèmes productifs, basé sur le non labour et la conservation des résidus de culture, avec pour conséquence l'amélioration du bilan hydrique du sol. Le nivellement laser permet quant à lui une amélioration de l'application de l'eau à la parcelle, grâce à une meilleure uniformité des terrains.

Nous nous sommes alors immergés au sein d'une association d'irrigants, afin de mieux comprendre comment s'effectue la gestion de l'eau d'irrigation par les usagers.

En mettant en avant les particularités de la zone agricole étudiée, nous nous sommes intéressés au contexte d'adoption de ces innovations, en insistant plus particulièrement sur la problématique « eau » : influence du cadre de gestion, collectif ou individuel, sur l'adoption, importance du facteur « économie d'eau » pour les producteurs.

La deuxième partie de l'étude a pour objectif l'évaluation des volumes économisables grâce à ces deux techniques. L'analyse du fonctionnement de l'agriculture irriguée sur la zone d'étude nous a permis de construire une méthodologie visant à cette quantification. Différentes approches ont alors été définies, permettant de mettre en évidence que réellement, l'introduction de ces innovations a permis et permettra d'économiser de l'eau. Différents facteurs influencent la nature de ces économies : il seront alors mis en évidence.

Summary

For a few years, the biggest lake of Mexico, the Chapala Lake, is touched by a worrying hydrological deficit. Whereas its water supplies the second largest town of the country with domestic water and the agricultural area of Bajío with irrigation water, the stake of its preservation is at the same time environmental, economical and political : effectively, an agreement between the 5 states of the Basin Lerma Chapala exists and aims to regulate the distribution of water, but I . In this context of conflict for water use, agriculture is said to waste water: the efficiencies of irrigation resort remains quite low.

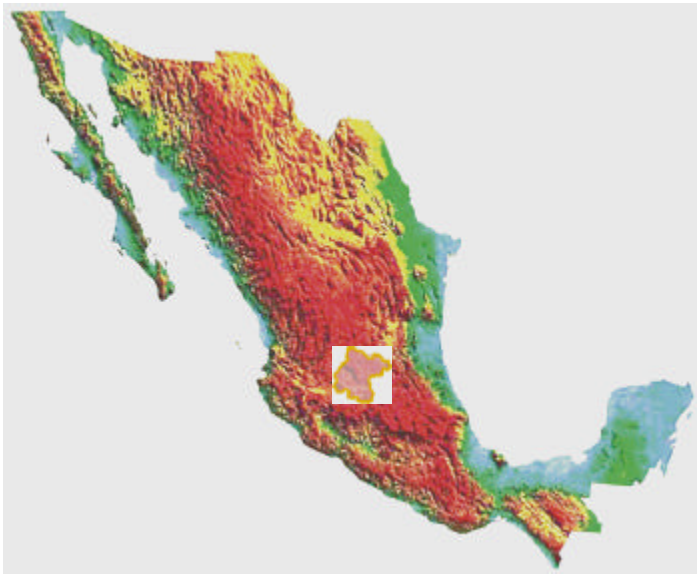
This study aims to evaluate water savings realizable by the agriculture of the district of irrigation Alto Rio Lerma irrigated area. Within agricultural systems marked by a loss of profitability, two innovations have been introduced: the direct seedling and the laser levelling. Direct seedling implies a change of production systems, based on non-tillage and conservation of cultural residues, whose consequence is an improvement of the hydric balance of soil. Laser levelling enables an improvement of water application uniformity at the scale of the plot.

We entered in the organization of an irrigants association, with the purpose of understanding irrigation water management is accomplished.

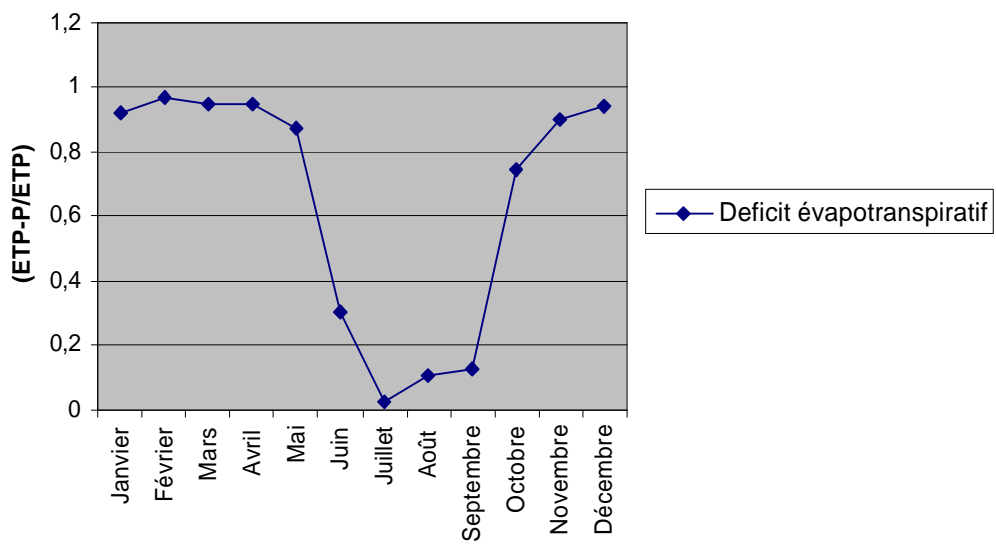
Emphasizing the particularities of the agricultural area of the study, we first focused ourselves on the adoption context of these innovations, and more precisely on the problematic of water: influence of the type of access, collective or individual, importance of the “water savings” factor for framers.

The second part of the study targets the evaluation of the quantification of volumes that can be saved with these two technical methods. The analysis of the operation of irrigated agriculture in the study area allowed us to build a methodology pointing on this quantification. Different approaches were developed, showing that, truly, the introduction of these innovations has induced and will induce water savings.

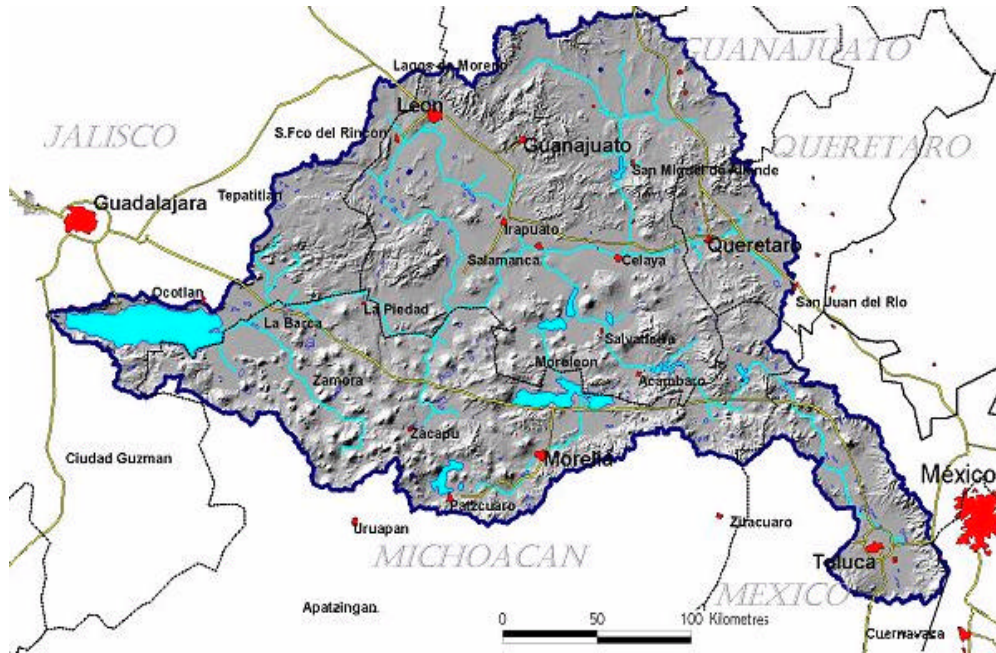
Annexe 1– Situation de l'Etat du Guanajuato (Consejo Estatal Hidraulico, 2002)



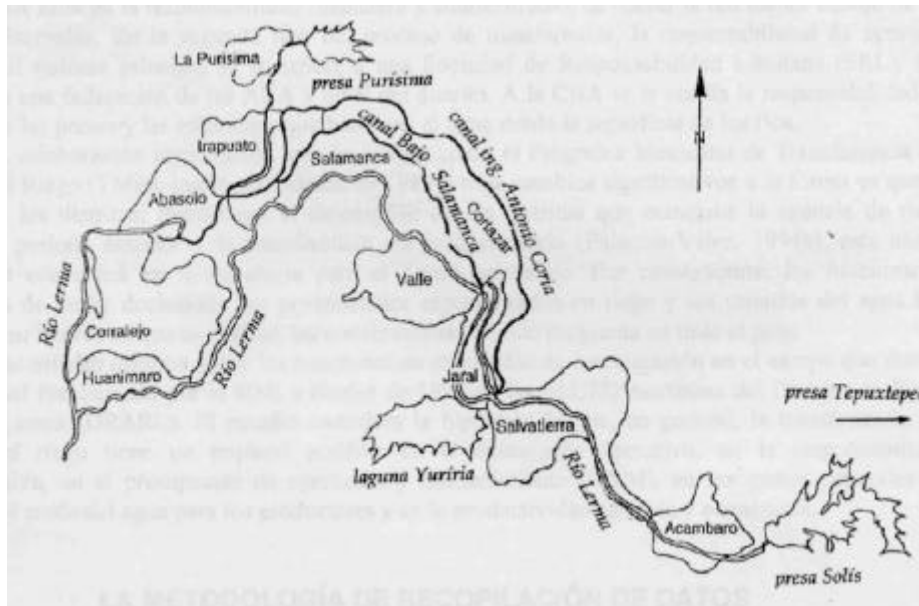
Annexe 2 – Déficit évapotranspiratif, Module d'Irapuato, Etat de Guanajuato (Module Irapuato, 2004)



Annexe 3 - Carte du bassin-versant Lerma Chapala (Consejo Estatal Hidraulico, 2002)



Annexe 4 – Le district d’irrigation Rio-Lerma et ses 11 modules

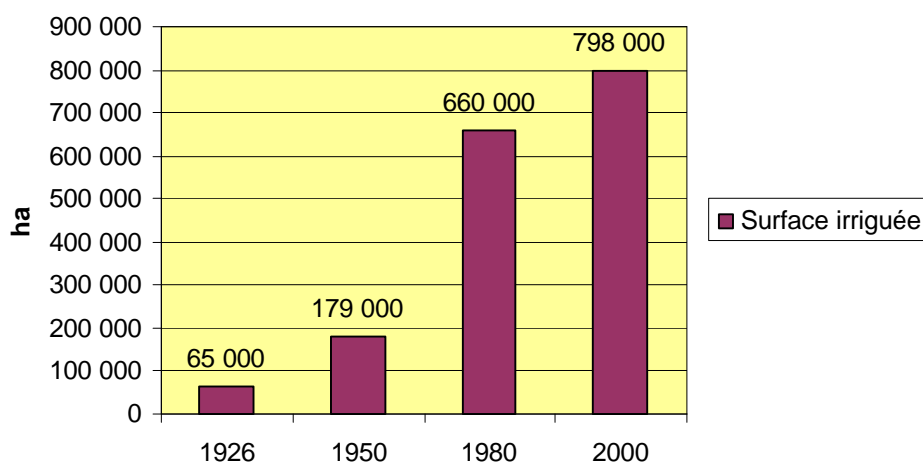


Annexe 5– L'eau du bassin versant Lerma-Chapala : au centre d'un conflit d'usage (CNA/IMTA, 2002)

Volumes exprimés en millions de mètres cubes par an.

	Eau souterraine	Eau superficielle	Total
Agriculture	3800	2900	6700
Industrie	250		250
Usage public et domestique	1100	200	1300
Sous-total	5150	3100	8250

Annexe 6 – Augmentation des surfaces irriguées dans le Bassin versant Lerma-Chapala (CNA/IMTA, 2002)



N.B : Ce graphique prend en compte les surfaces habilitées pour l'irrigation, qui ne coïncident pas nécessairement avec les surfaces réellement irriguées, celles –ci étant dépendantes des conditions de manque ou de disponibilité de l'eau, des accords du Conseil de Bassin, et du degré de contrôle des districts et unités d'irrigation par la CNA.

Annexe 7 – Volumes d'eau utilisés par l'agriculture dans le bassin Lerma-Chapala (CNA / IMTA, 2002)

- **Lames brutes d'eau (cm)**
10 cm = 1000 m³ / ha

	Moyenne	Valeur minimale	Valeur maximale
Districts	80	20	150
Petite irrigation	70	20	150

- **Volumes**
Bassin Lerma-Chapala = 8000m³ / ha en moyenne
Autres pays = de 2800 à 7400 m³/ha en moyenne

Annexe 8– La reconversion de l'Etat de Guanajuato à la culture de l'orge en cycle OI (Congreso Nacional de Irrigación, 2003)

- **Productivité des cultures d'orge et de blé par volume d'eau consommé (CNA, 2002)**

Orge : 1,17 kg / m³
Blé : 0,86 kg / m³

- **Evolution des surfaces cultivées en orge et blé – Etat de Guanajuato, cycle OI**

	1998-1999	2001-2002	2002-2003
Blé	35 765	8301	6587
Orge	11 373	31 629	40 594
Total	47 138	39 930	47 181

Annexe 9 – Surfaces du DR 011 avec systèmes d'irrigation technifiée (CNA, 2004)

Module	Superficie Total ha	Superficie (ha)				
		Tubes à vanettes	Goteo	Microasp.	Aspersion	Autres
DR011						
Acambaro	8 558,46	2 831,52				
Salvatierra	16 068,08	3 572,23	40,30			
Jaral	6 710,41	2 776,07	193,35		141,10	
Valle	13 280,77	4 476,00	142,00			
Cortazar	18 323,85	5 942,60	627,05			
Salamanca	15 914,58	2 383,48	81,05		82,30	
Irapuato	8 327,18	2 009,10	52,00	20,00	124,20	
Abasolo	17 985,61	6 180,00	95,00		35,00	
Huanimaro	3 799,35	3 156,00	6,25			
Corralejo	1 557,04	1 525,00				
La Purisima	5 001,24	590,00	162,25		5,50	
Sous-total	115 526,57	35 442,00	1 399,25	20,00	388,10	0,00

Annexe 10 – Questionnaire Enquêtes

Cuestionario agricultores - General

Fecha : _____

Comunidad : _____

Sección : _____

Nombre: _____

Edad : _____

Ejidatario ? PP ? Otro? : precise _____

¿Cual es su función / posición en la finca? _____

1 Sistemas de producción

1.1 Síntesis sobre área cultivada

- Ciclo 2003-2004

Tenencia	Ha que cultiva		Cultivo PV	Ha	Cultivo OI	Ha
	OI 03/04	PV 2004				
Propiedad			Maíz		Cebada	
Ejidal			Maíz en asociación		Trigo	
Rentada			Sorgo		Hortalizas	
A medias sin tierra			Hortalizas		Otros: _____	
A medias con tierra			Otros: _____			
Total						

- Ciclo 2002-2003

Tenencia	Ha que cultiva		Cultivo PV	Ha	Cultivo OI	Ha
	OI 02/03	PV 2003				
Propiedad			Maíz		Cebada	
Ejidal			Maíz en asociación		Trigo	
Rentada			Sorgo		Hortalizas	
A medias sin tierra			Hortalizas		Otros: _____	
A medias con tierra			Otros: _____			
Total						

1.1.1 De las tierras suyas, ¿cuántas hectáreas está rentando (o a medias) Ud. a otros en el ciclo OI 2003-2004 : _____ (ha)

1.1.2 A comparación con hace 5 años, hoy día cultiva mas /menos terreno?
1. Igual 2. Más (¿cuanto tenía? ___has) 3. Menos (¿cuanto tenía? ___ ha)

1.1.3 ¿Cambió de sistema de cultivo estos 5 últimos años? En ciclo PV: 0. No 1. Si
En ciclo OI: 0. No 2. Si

¿Por cuales causas? _____

1.2 Capital físico

1.2.1 De las siguientes maquinarias, cuantos tiene Ud. (propia o con un grupo)?

Tipo de equipo / Maquinaria		Cuanto(a)s en propio	Cuanto(a)s en grupo
Camionetas			
	Tractor		
	Trilladora		
	Empacadora		
	Arado de discos		
	Rastra de discos		
	Cinceles / Subsolador		
	Aguilón		
	Sembradora convencional grano grueso		
	Sembradora convencional grano fino		
	Sembradora LC grano grueso		
	Sembradora LC grano fino		
	Otros equipos		

1.3 Animales

¿ Tiene Ud. una ganadería hoy día? 0.No 1. Si

Si si: ¿Cuales animales tiene Ud.? _____ ¿Cuantos? _____

De los cultivos que siembra, ¿usa algunos para alimentar a sus animales? 0. No 1.Sí

¿Cuales? _____

¿Compra forraje? 0. No 1. En años difíciles solamente 2. Si, cada año

Si no: ¿Tuvo Ud. una ganadería antes? 0. No 1. Si

¿Cuales animales tenia Ud.? _____ ¿Cuantos? _____

¿Cuando ha abandonado esta actividad? _____

¿Por cuales razones? _____

2 Acceso al agua

2.1 Tipo de acceso

2.1.1 ¿Cual es la superficie de riego? _____ ha ¿en puro temporal ? _____ ha

2.1.2 Para cuantas hectáreas tiene derechos de agua de la presa ? (dentro del modulo) : _____ ha

2.1.3 ¿Con cual tipo de agua riega las parcelas ?

- Agua de gravedad

Tipo	PV 2004		OI 03-04	
	Sup.regada	Cultivo	Sup. regada	Cultivo
Agua de canal				
Aguas negras				

Agua de bombeo				
----------------	--	--	--	--

¿Cual es su posición en el canal? 0. Principio 1. Medio 2. Cola
 ¿Usted ya tuvo problemas de abastecimiento de agua? 0. No 1. Si
Si si : ¿De que tipo ? _____ ¿Cuando? _____
 ¿Eso le puse a usted el limites para escoger sus cultivos ? 0. No 1. Si
 ¿Hubo baja de produccion ? 0. No 1. Si
 ¿Sabe como el canalero organiza su tandeo en la sección? 0. No 1. Si
Si si : ¿Puede decibirme este tandeo? _____

 ¿Sabe si habia un cambio de la forma de distribución estos ultimos años? 0. No 1. Si
Si si : ¿Cuando ocurre este cambio? _____
 ¿ Puede describirme este cambio? _____

 ¿Hay problemas de escasez de agua en algunas partes del modulo?
 0. No 1.Si 2.No sabe
Si si : ¿Desde cuando tiempo hay problemas? _____ años
 ¿Cuales son las causas del escasez de agua? _____

- Agua de pozo

¿Riega Ud. con un pozo ? 0. No 1. Si

Si si ¿Cuantos pozos utiliza Ud.? _____

Concesión			Características			
Tipo de pozo 1. Oficial 2. En sociedad 3. Individual	Nbre del concesionario	# de usuarios	Pulgadas	Gasto	Sup. regada	Tipo de riego Grav / Comp. / Goteo
A						
B						
C						
D						
E						

- ¿Nunca utiliza Ud. los dos fuentes de agua? 0. No 1. Si

Si si :

¿Cual tipo de agua utiliza Usted de manera preferencial ?
 0. Agua de pozo (auxilio con agua de canal)
 1. Agua de canal (auxilio con agua de pozo)
 ¿Por qué utiliza Ud los dos tipos de agua ?
 1. Porqué el agua de canal es mas barato
 2. Porqué la capacidad del pozo no es suficiente
 3. Para no sobre explotar el pozo
 4. Mezclando los dos, el riego es mas rapido

5. Otro motivo

3 Manejo agronómico general

3.1 Parcellario => Cf ficha

3.1 Rendimientos

Cultivo	Rdto. en años buenos	Rdto. en años regulares	Rdto. en años malos
Trigo			
Cebada			
Sorgo			
Maíz			

¿De los últimos 3 años, los cuales estuvieron malos, regulares o buenos?

OI 2003-2004 : _____

PV 2003: _____ OI 2002-2003 : _____

PV 2002: _____ OI 2001-2002 : _____

3.2 Nivelación de las tierras

¿Tiene usted tierras niveladas? 0. No 1. Si **Cf. Ficha Terras Niveladas**

Si no:

¿Sabe Usted cuales son los ventajas de la nivelación con un laser?

0. Mejorar la cosecha (qualidad del producto mas homogena)

1. Si pozo : Ahorrar energia

2. Ahorrar agua en volumen

3. Ahorrar tiempo de riego

4. Resolver problemas de pendientes

4. Tener acceso a contratos con empresas que exigen nivelación

5. Otro motivo : _____

¿Porque nunca hizo nivelación?

0. A causa del precio

1. Por qué no es necesario en sus tierras Precisar : _____

2. Por qué necessita tiempo

3. Otra causa : _____

¿Pensa usted a hacer una nivelación? 0. No Si.

¿Porque?

3.2 Labranza de conservación

¿Hace usted labranza de conservación? 0. No 1. Si **Cf. Ficha Zero Labranza**

Si no:

¿Ud. ya ha escuchado hablar de algo así como labranza de conservación (o lab. cero, o lab. mínima, o lab. reducida)? 0. No 1. Sí

¿Hace cuanto tiempo que esta enterado de esto más o menos? Desde hace _____ años ; o sea desde el 19____

¿Como se ha enterado de esto?

1. Vecino de su misma comunidad
2. Otro productor pero no vecino (conexión con Ud.: _____)
3. Técnico de venta de _____
4. Técnico asesor (no vende) de _____
5. Día de campo organizado por _____ en el año _____
6. Otro medio: _____

¿Ha Ud.intentado alguna vez disminuir el número de pasos de maquinaria / de preparación, o de dejar parte del rastrojo o de la paja en la parcela?

¿Como le salió esta prueba? _____

2.4 Si ya ha escuchado de algunas formas de LC :

¿Sabe cuales son los ventajas de esta tecnica? _____

¿Porque nunca ha probado?

4 Estrategia de la finca

4.1 Fuerza de trabajo

4.1.1 ¿Cuantos trabajadores permanentes emplea Ud.? _____

4.1.2 ¿Tiene mano de obra familiar? _____

4.1.3 ¿Emplea Ud. eventuales ?

a. Nunca

b. Muy de vez en cuando

c. Para determinadas operaciones (PV: _____

OI: _____)

4.2 Estrategia de ingreso de dinero

4.2.1 ¿De los siguientes actividades, qué es lo más importante para sostener la economía de su familia hoy día?

Actividad	Importancia relativa
Venta de trigo u cebada	
Venta de maíz o sorgo	
Venta de hortalizas	
Venta de otros cultivos: _____	
Venta de rastrojo, paja o forraje	
Venta ganados u otros animales	
Venta leche o queso	
Maquilar maquinaria a otros	
Renta de tierra a otros agricultores	
Salir a trabajar afuera en agricultura	
Salir a trabajar afuera en actividades no agrícolas	
Apoyo familiares que viven afuera	
Otras fuentes:	

Clases: 0: nula 1: poco importante; 2: mas o menos importante; 3: muy importante

4.2.2 ¿Ha habido un cambio importante en sus fuentes de ingreso en los últimos 5-10 años?
0. No 1. Si: detallar el o los cambios:

5 Perspectivas de evolución

5.1 ¿Piensa que va a cambiar significativamente el tipo de agricultura que Ud. practica en su finca en los 5 próximos años? 0. No 1. Si

En caso positivo: ¿Que es lo que considera va a cambiar específicamente en su finca?

a. Superficie que siembra :

¿Piensa comprar o rentar más tierra de lo que posee / cultiva hoy en los próximos años? 0. No: ___ 1. Si ___

¿Piensa vender o rentar parte de la tierra que posee en los próximos años? No: _ Si _

a. Cultivos que siembra:

¿Cuales son los que van a desaparecer / disminuir fuertemente ? :

los que van a aparecer / aumentar fuertemente ? :

b. Las formas de manejo o de tipo de riego: (tecnificación, pozo,...)

¿Cuales son las que van a desaparecer / disminuir fuertemente? :

las que van a aparecer / aumentar fuertemente ? :

c. Las formas de comercialización :

d. La asistencia técnica:

e. Otros cambios:

Ficha Parcellario

- ¿Cuántas parcelas cultiva en total este ciclo OI 2003-2004 y PV 2004? _____
- ¿Puede Ud. describirme 3 parcelas que tienen un tipo de manejo diferente? (Prep. Suelo, Manejo de los residuos,...)

Parcela	Tenencia	Sup.	Riego	Color / Textura	Niv.	Ciclo OI 2003-2004				Ciclo PV 2004			
						Cultivo	Prep. suelo	Exp. residuos	Uso. Residuos no exp.	Cultivo	Prep. suelo	Exp. Residuos	Uso residuo no exp.

Tenencia: 1. Propiedad, 2. Ejidal, 3. Rentada, 4. A medias;

Riego: 1. Gravedad, 2. Pozo, 3. Aguas negras

Color: Blanca, Café, Colorada, Gris, Negra ...

Textura: Pesada (Arcillosa); Media (Franca); Ligera (Arenosa)

Exportación residuos: 1. Se llevo todo; 2. Se llevo parte de los residuos; 3. Todo se queda, 4. Todo se quema

Uso de los residuos que no se exportan: 1. Incorporación; 2. Deja en superficie

Preparación del suelo: # barbechos # rastras # otras operaciones (cincel, subsuelador)

Ficha Nivelación

1. Generalidades

1.1 Tierras niveladas

1.1.1 Superficie nivelada en total: _____ ha

¿En cuantas veces fue realizada la nivelación? 0. 1 vez 1. 2 veces

Fecha de la primera nivelación: _____ Sup: _____ # de la parcela : _____

secunda nivelación: _____ Sup: _____ # de la parcela : _____

tercera nivelación: _____ Sup: _____ # de la parcela : _____

1.1.3 ¿Piensa usted a nivelar otras parcelas? 0. No 1. Si

Si si : ¿Cuándo? _____

1.2 Condiciones de la realización

1.2.1 ¿Tuvo apoyo del gobierno? 0. No 1. Si ¿De cuanto? _____

1.2.2 ¿Por quién estuvo realizada la nivelación? 0. Por el modulo 1. Por una empresa 2. Otro

2. Motivos

¿Cual fue su motivo para nivelar sus tierras?

0. Mejorar la cosecha (qualidad del producto mas homogenea)

1. Si pozo : Ahorrar energia

2. Ahorrar agua en volumen

3. Ahorrar tiempo de riego

4. Por qué tenia problemas de pendiente

4. Por qué tiene un contrato con una empresa que la exige

5. Otro motivo : _____

3. Resultados

1.1 Rendimientos

¿Huvo un aumento de los rendimientos despues de la nivelación? 0. No 1. Si

Si si : ¿Puede precisar? :

	Rend. antes nivelación (t/ha)	Rend. despues nivelación (t/ha)
Maïs PV		
Sorgho PV		
Trigo OI		
Cebada OI		
Hortalizas : _____ _____		

¿Huvo una mejora de la calidad del producto cosechado? 0. No 1. Si

1.2 Si pozo : Ahorros de energia

¿Huvo una disminucion de su consumo de energia despues nivelación? 0. No 1. Si

Si si : ¿Cual fue su consumo antes? _____

¿Cual es su consumo ahora? _____

¿Puede mostrarme un historico de su consumo de energia (**factura de la Comisión Federal de Electricidad**)?

1.3 Disminución del numero de riegos

¿Huvo una disminucion del numero de riego por ciclo? 0. No 1. Si

En todos casos ¿Puede precisar? :

	# de riego antes nivelación	# de riego después nivelación
Maïs PV		
Sorgho PV		
Trigo OI		
Cebada OI		

¿Como explica Ud. esta disminución? _____

1.4 Ahorros de tiempo de riego

¿Huvo una una disminución del tiempo de riego de su(s) parcela(s) nivelada(s)? 0. No 1. Si
Si si : ¿Cuanto tiempo necesitaba para regar sus parcelas antes la nivelación?

Parcela # __: Sup. : _____ ha Tiempo : _____ horas Gasto : _____
Parcela # __: Sup. : _____ ha Tiempo : _____ horas Gasto : _____

¿Cuanto tiempo necesita ahora?

Parcela # __: Tiempo : _____ horas Gasto : _____
Parcela # __: Tiempo : _____ horas Gasto : _____

O considerando los pozos :

Antes nivelación:

Pozo # __: Tiempo de funcionamiento en horas / día: _____ durante _____ días Gasto : _____
Pozo # __: Tiempo de funcionamiento en horas / día: _____ durante _____ días Gasto : _____
Pozo # __: Tiempo de funcionamiento en horas / día: _____ durante _____ días Gasto : _____

Despues nivelación:

Pozo # __: Tiempo de funcionamiento en horas / día: _____ durante _____ días
Pozo # __: Tiempo de funcionamiento en horas / día: _____ durante _____ días
Pozo # __: Tiempo de funcionamiento en horas / día: _____ durante _____ días

¿Como explica Ud. este ahorro?

0. El agua se desagua mas rapido
1. Hay menos deperdicionen de agua (menos agua se estanca)
2. Otras razones

1.4 Ahorros de agua en terma de volumen=> cf tiempo

Ficha labranza de conservación
Ciclo PV / OI

1. Contexto de la adopción

1.1 *Practica probada*

1.1.1 Año de la primera prueba: _____ Cultivos donde la probó: _____

Sobre cuantas hectáreas la probó? _____ has

Tipo de manejo de residuos: _____

Tipo de suelo: _____

1.1.2 ¿Antes de probar esta practica, como preparaba Ud. esta(s) parcela(s)? _____

¿Cuándo y cómo se enteró de la existencia / del potencial de esta técnica? _____

¿Que estaba buscando resolver ? _____

1.2 *Contexto de la primera prueba*

1.2.1. Cual fue el contexto de la prueba?

1. Parcela demostrativa manejada por _____ 2. Parcela manejada por cuenta propia pero con asesoría técnica de _____

3. Parcela manejada por cuenta propia sin asesoría ninguna

1.2.3. Al momento de probar, ¿había otros vecinos que también habían probando lo mismo?

0. No, fui el primero 1. Sí, había unos pocos 2. Sí, había muchos

1.2.4. ¿Como le salió esta primera prueba?

1.2 Según Ud., qué proporción de sus *vecinos directos* (mismo ejido / lugar) han **probado** LC po el ciclo PV?

Sobre un total de ____ vecinos / ejidatarios, ____ de ellos la han probado aproximadamente

1.3 ¿Qué proporción de ellos la estarán **usando** hoy día? _____

2. Adopción actual de la tecnica

2.1 *Inventario de las parcelas en zero labranza PV*

1.2.1 ¿Cuántos hectareas de zero labranza tiene Ud. hoy día? _____

¿Cuántos parcelas de zero labranza tiene Ud. hoy día? _____

Cultivo : _____ Precedente cultural: _____

Tipo de suelo : _____

Tipo de manejo de los residuos : _____

Tipo de riego : 0. Gravedad 1. Pozos

Si pozo : # de pozo(s) que riega las parcelas de zero labranza: _____

2.2 *Detalles sobre maquinaria*

2.2.2 ¿Como solucionó la cuestión de **acceso a maquinaria para siembra directa en PV**?

a. Adaptó una sembradora convencional existente

b. Compró sembradora LC especializada

c. Renta sembradora LC

d. Otros casos: _____

2.2.3 Por los que compraron maquinas, fue con algún subsidio?

0. No 1. Alianza para el campo 3. Otra _____

3. Resultados

3.1 Ventajas y dificultades encontradas con esta forma específica de manejo

Ventajas :

1. Baja de los costos de producción
2. Bajo del tiempo de trabajo
3. Mejora de la estructura del suelo
4. Aumento de la proporción de materia organica
5. Diminución de la cantidad de fertilizantes
6. Diminución del consumo de agua : en volumen / numero de riego / tiempo de riego
7. Aumento de la humedad del suelo
8. Otras _____

¿Puede darme mas detalles? : _____

Dificultades :

1. Control de las malezas, plagas,...
2. Manejo de los rastrojos
3. Manejo del riego
4. Otras _____

¿Puede describirme estas dificultades ? _____

3.2. Rendimientos y utilidad

¿Huvo un aumento de los redimientos y/o de la utilidad despues de su conversión? 0. No 1. Si

Si si : ¿Puede precisar? : _____

3.3 Ahorros de agua

3.3.1 Si pozo : Ahorros de energia

¿Huvo una disminución de su consumo de energia despues su conversión? 0. No 1. Si

Si si : ¿Cual fue su consumo antes? _____ kW /

¿Cual es su consumo ahora? _____ kW/

¿Fue esta disminución inmediata? 0. No 1. Si

Si No : ¿Despues cuando año con este systema hubo esta disminución? _____ año

¿Puede monstrarme un historico de su consumo de energia (**factura de la Comisión Federal de Electricidad**)?

3.3.2 Disminución del numero de riegos

¿Huvo una disminución del numero de riego? 0. No 1. Si

En todos casos ¿Puede precisar? :

	# de riegos antes zero labranza	# de riegos ahora
Maïs PV / Trigo OI		

Sorgho PV / Cebada / OI		
-------------------------	--	--

Comentario: _____

3.3.4 Ahorros de tiempo de riego

- ¿Hay hoy día una **disminución del tiempo de riego** de su(s) parcela(s) con zero labranza?
 0. No 1. Si 2. Depende de las parcelas

Si 2: ¿Por cuales parcelas hay/no hay una **disminución**?

¿Como han evolucionado los tiempos de riego por las parcelas por las cuales no hay disminución?

En caso de disminución

- ¿Esta disminución ocurre a partir del primer riego? 0.No 1. Si

Si no: ¿A partir de cual riego ocurre? _____

¿El primer riego dura mas tiempo que en preparación tradicional? 0. No 1. Si

¿Como explica Ud. eso? _____

- ¿Cuanto tiempo necesitaba para regar sus parcelas **antes**?

1er riego: Parcela # __: Sup. : _____ ha Tiempo : _____ horas Gasto : _____

Otros riegos: Parcela # __: Sup. : _____ ha Tiempo : _____ horas Gasto : _____

¿Cuanto tiempo necessita **ahora**?

1er riego: Parcela # __: Tiempo : _____ horas Gasto : _____

Otros riegos: Parcela # __: Tiempo : _____ horas Gasto : _____

O considerando los pozos :

Antes zero labranza:

1er riego : Pozo # __: Tiempo de funcionamiento en horas / día: _____ durante _____ días

Otros riegos : Pozo # __: Tiempo de funcionamiento en horas / día: _____ durante _____ días

Despues zero labranza:

1er riego : Pozo # __: Tiempo de funcionamiento en horas / día: _____ durante _____ días

Otros riegos : Pozo # __: Tiempo de funcionamiento en horas / día: _____ durante _____ días

- ¿Fue esta disminución inmediata? 0. No 1. Si
- ¿Despues cuando año con este systema hubo esta disminución? _____ año
- ¿Como explica Ud. esta disminución?

3.3.3 Ahorros de agua en terma de volumen => Cf tiempo de riego

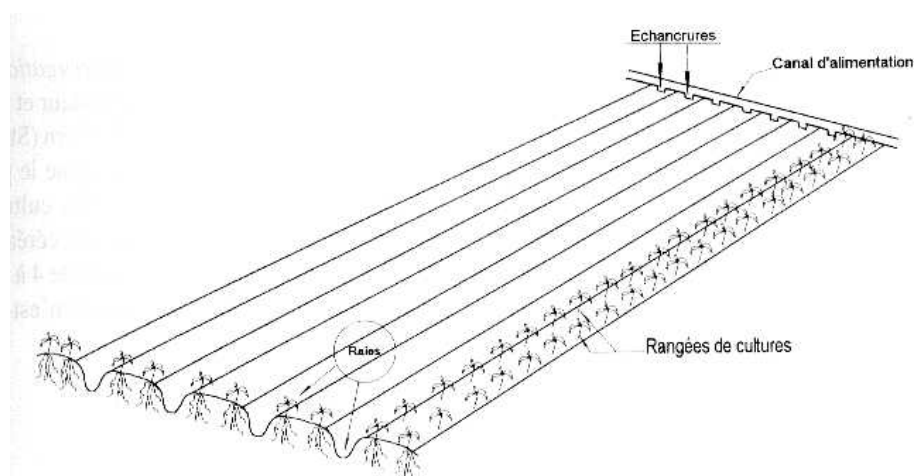
4. Perspectivas a futuro

¿Va a seguir con esta práctica o piensa modificarla o cambiar para otra?

Annexe 11 – Intervalles d'irrigation recommandés (INIFAP, 2002)

Culture considérée	Calendrier d'irrigation (Intervalle en jours)
<i>Blé</i>	0 – 45 - 22
<i>Orge</i>	0 – 40 – 27 - 21
<i>Maïs</i>	0 – 35
<i>Sorgho</i>	0 - 35

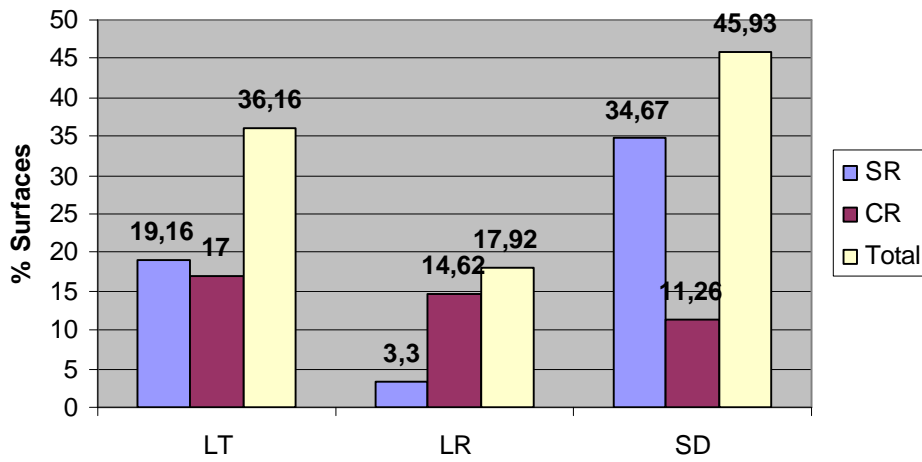
Annexe 12– Le système d'irrigation à la raie (Gillet, Ollivier, 2002)



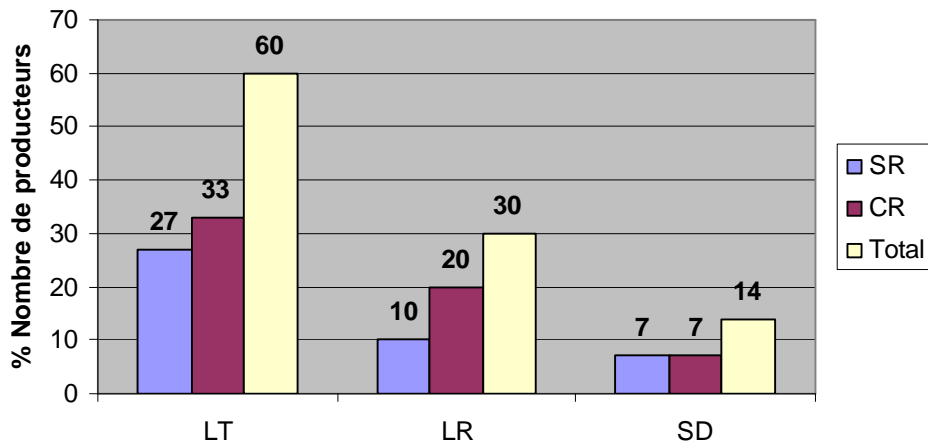
Annexe 13 – Répartition des surfaces en semis direct dans le monde (Derpsch, 2001)

Pays	Surfaces en 1999 (millions d'hectares)
USA	19,3
Brésil	11,2
Argentine	7,3
Canada	4,1
Australie	1
Paraguay	0,8
Mexique	0,5
Bolivie	0,2
Chili	0,1
Uruguay	0,05
Autre	1
TOTAL	45,5

Annexe 14 – Les différents types de préparations du sol et de gestion des résidus du Bajío Guanajuatense en cycle PV (ASOSID, 2001)



Annexe 14 – Les différents types de préparations du sol et de gestion des résidus du Bajío Guanajuatense en cycle OI (ASOSID, 2001)



Annexe 15 – Détail des coûts de production pour les cultures de céréales – Moyenne sur le DR 011 (CNA, 2003)

- Blé

Concepto	Unidad	P.U. \$	Cantidad	Importe \$	Notas
Renta de la tierra	ha	50,00	1,00	50,00	Contrib. y prediales
Desvare	ha	250,00		0,00	
Barbecho	ha	500,00	1,00	500,00	Costo de Insumos
Rastreo	ha	250,00	1,00	250,00	<u>2 151,50</u>
Empareje	ha	150,00	1,00	150,00	
Traza de riego	ha	250,00	1,00	250,00	
Semilla	kg	3,30	180,00	594,00	
Siembra+1ra.Fert.	ha	250,00	1,00	250,00	
2da. Fertilización	ha	250,00	1,00	250,00	
Nitrógeno	kg.	4,35	200,00	870,00	
Fósforo	kg.	2,50	40,00	100,00	
Potasio	kg.	3,00		0,00	
Elementos menores (Zn, Fe)	kg	80,00		0,00	
Foliares	lt	70,00	2,00	140,00	
Herbicidas	lt	180,00	2,00	360,00	
Insecticidas	kg.	3,50	25,00	87,50	
Aplicación de foliares	ha	100,00	1,00	100,00	
Aplicación de herbicidas	ha	100,00	1,00	100,00	
Aplicación de insecticidas	ha	100,00	2,00	200,00	
Deshierbes	ha	250,00		0,00	
Riegos (Costo del Agua)	\$/ha	260,00	4,00	1 040,00	Cuota de riego
Aplicación de riegos	ha	100,00	4,00	400,00	
Pajareo	ha	100,00		0,00	
Trilla (Rendimiento)	\$/ton x ton/ha	100,00	7,00	700,00	
Suma				6 391,50	
Tasa de interés	%			16,80	
Tiempo	mes			4,50	
Intereses	\$/mes			89,48	
Costo financiero	\$			402,66	
Total Costos (C)	\$			6 794,16	
Beneficio Bruto (B)	\$/ton/ha	1 400,00	6,80	9 520,00	
R (B) / (C)				1,40	
Beneficio Neto	\$/ha			2 725,84	

Concepto	Unidad	P.U.	Cantidad	Importe \$	Notas
Renta de la tierra	ha	50,00	1,00	50,00	Contrib. y prediales
Desvare	ha	250,00		0,00	
Barbecho	ha	500,00	1,00	500,00	Costo de Insumos
Rastreo	ha	250,00	1,00	250,00	2 220,40
Empareje	ha	150,00	1,00	150,00	
Traza de riego	ha	250,00	1,00	250,00	
Semilla	kg	4,03	180,00	725,40	
Siembra+ 1ra.Fert.	ha	250,00	1,00	250,00	
2da. Fertilización	ha	250,00	1,00	250,00	
Nitrógeno	kg.	4,35	200,00	870,00	
Fósforo	kg.	2,50	40,00	100,00	
Potasio	kg.	3,00		0,00	
Elementos menores (Zn, Fe)	kg	80,00		0,00	
Foliales	lt	150,00		0,00	
Herbicidas	lt	350,00	1,00	350,00	
Insecticidas	kg.	3,50	50,00	175,00	
Aplicación de foliales	ha	200,00		0,00	
Aplicación de herbicidas	ha	100,00	1,00	100,00	
Aplicación de insecticidas	ha	100,00	2,00	200,00	
Deshierbes	ha	250,00		0,00	
Riegos (Costo del Agua)	\$/Ha	260,00	3,00	780,00	(Cuota de riego)
Aplicación de riegos	ha	100,00	3,00	300,00	
Pajareo	ha	100,00		0,00	
Trilla (Rendimiento)	\$/ton x ton/ha	100,00	7,00	700,00	
Suma				6 000,40	
Tasa de interés	%			16,80	
Tiempo	mes			4,00	
Intereses	\$/mes			84,01	
Costo financiero	\$			336,02	
Total Costos (C)	\$			6 336,42	
Beneficio Bruto (B)	\$/ton/ha	1 550,00	7,00	10 850,00	
R (B) / (C)				1,71	
Beneficio Neto	\$/ha			4 513,58	

- *Orge*

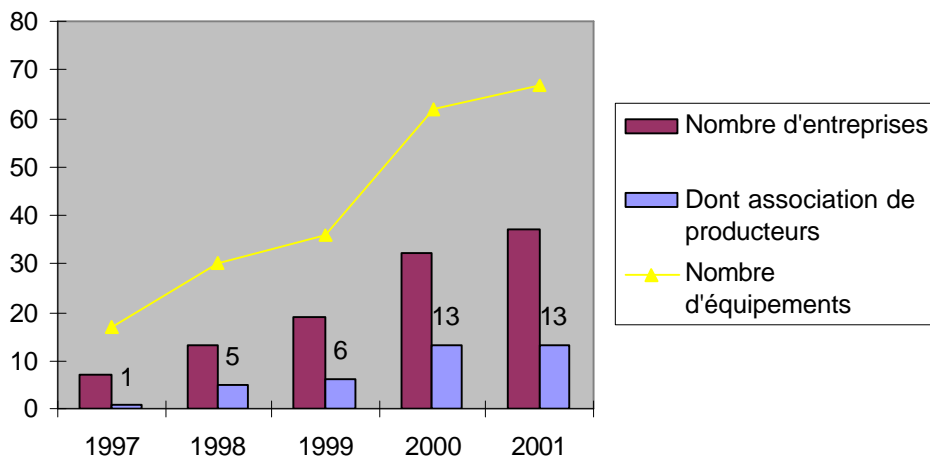
- *Maïs*

Concepto	Unidad	P.U.	Cantidad	Importe \$	Notas
Renta de la tierra	ha	50,00	1,00	50,00	Contrib. y prediales
Desvare	ha	350,00		0,00	
Barbecho	ha	500,00	1,00	500,00	Costo de Insumos
Rastreo	ha	250,00	1,00	250,00	2 405,00
Empareje	ha	150,00	1,00	150,00	
Traza de riego	ha	250,00	1,00	250,00	
Semilla Maíz	kg	30,00	25,00	750,00	
Siembra+1ra.Fert.	ha	300,00	1,00	300,00	
2da. Fertilización+Escarda	ha	300,00	1,00	300,00	
Nitrógeno	kg.	4,00	220,00	880,00	
Fósforo	kg.	3,00	50,00	150,00	
Potasio	kg.	3,00		0,00	
Elementos menores (Zn, Fe)	kg	80,00		0,00	
Foliales	lt	150,00		0,00	
Herbicidas	lt	250,00	2,00	500,00	
Insecticidas	lt	125,00	1,00	125,00	
Aplicación de foliales	ha	200,00		0,00	
Aplicación de herbicidas	ha	100,00	2,00	200,00	
Aplicación de insecticidas	ha	100,00	1,00	100,00	
Deshierbes	ha	1 400,00		0,00	
Riegos (Costo del Agua)	\$/ha	260,00	2,00	520,00	Cuota de riego
Aplicación de riegos	ha	100,00	2,00	200,00	
Pajareo	ha	100,00		0,00	
Trilla (Rendimiento)	\$/ton x ton/ha	100,00	8,00	800,00	Incluye Fletes
Suma				6 025,00	
Tasa de interés	%			16,80	
Tiempo	mes			5,00	
Intereses	\$/mes			84,35	
Costo financiero	\$			421,75	
Total Costos (C)	\$			6 446,75	
Beneficio Bruto (B)	\$/ton/ha	1 500,00	8,00	12 000,00	
R (B) / (C)				1,86	
Beneficio Neto	\$/ha			5 553,25	

- *Sorgho*

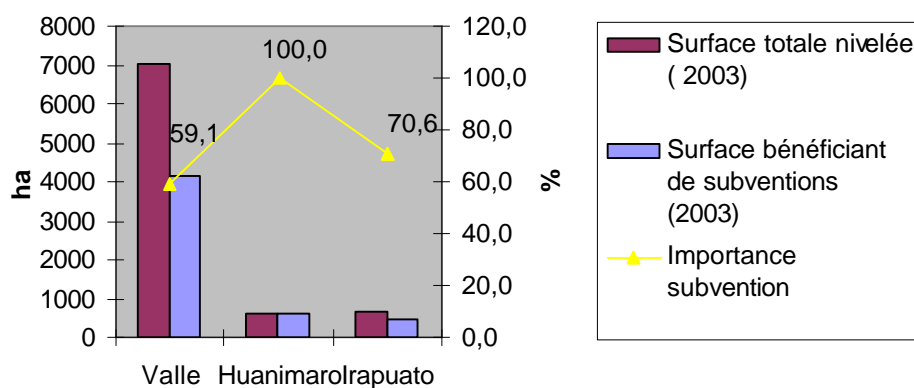
Concepto	Unidad	P.U.	Cantidad	Importe \$	Notas
Renta de la tierra	ha	50,00	1,00	50,00	Contrib. y prediales
Desvare	ha	250,00		0,00	
Barbecho	ha	500,00	1,00	500,00	Costo de Insumos
Rastreo	ha	250,00	1,00	250,00	1 794,00
Empareje	ha	150,00	1,00	150,00	
Trazo de riego	ha	250,00	1,00	250,00	
Semilla	kg	29,50	22,00	649,00	
Siembra+1ra.Fert.	ha	300,00	1,00	300,00	
2da. Fertilización+Escarda	ha	300,00	1,00	300,00	
Nitrógeno	kg.	2,00	210,00	420,00	
Fósforo	kg.	2,50	40,00	100,00	
Potasio	kg.	3,00		0,00	
Elementos menores (Zn, Fe)	kg	80,00		0,00	
Foliales	lt	150,00		0,00	
Herbicidas	lt	250,00	2,00	500,00	
Insecticidas	lt	125,00	1,00	125,00	
Aplicación de foliales	ha	200,00		0,00	
Aplicación de herbicidas	ha	100,00	2,00	200,00	
Aplicación de insecticidas	ha	100,00	1,00	100,00	
Deshierbes	ha	1 400,00		0,00	
Riegos (Costo del Agua)	\$/ha	260,00	2,00	520,00	Cuota de riego
Aplicación de riegos	ha	100,00	2,00	200,00	
Pajareo	ha	100,00	1,00	100,00	
Trilla (Rendimiento)	\$/ton x ton/ha	100,00	8,00	800,00	
Suma				5 514,00	
Tasa de interés	%			16,80	
Tiempo	mes			5,00	
Intereses	\$/mes			77,20	
Costo financiero	\$			385,98	
Total Costos (C)	\$			5 899,98	
Beneficio Bruto (B)	\$/ton x ton/ha	1 300,00	8,00	10 400,00	
R (B) / (C)				1,76	
Beneficio Neto	\$/ha			4 500,02	

Annexe 16 - Evolution du nombre d'entreprises réalisant le nivellement, Etat de Guanajuato (SDA, 2001)

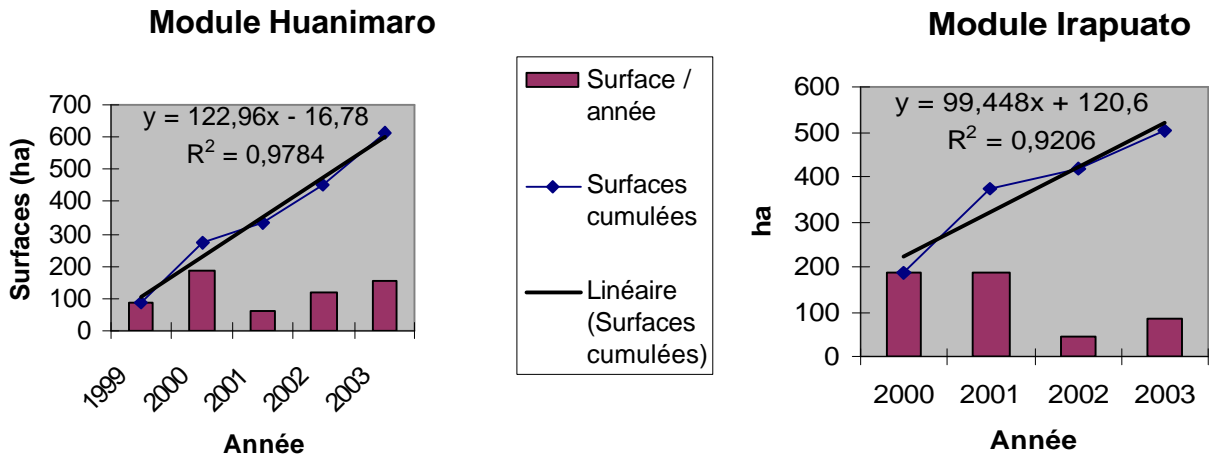


Annexe 17 – Importance de la subvention gouvernementale (Confrontation données SDA et CNA, 2003)

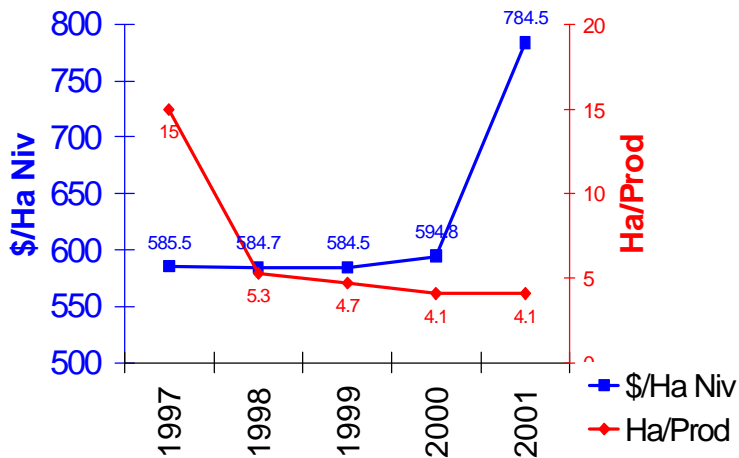
Importance de la subvention gouvernementale



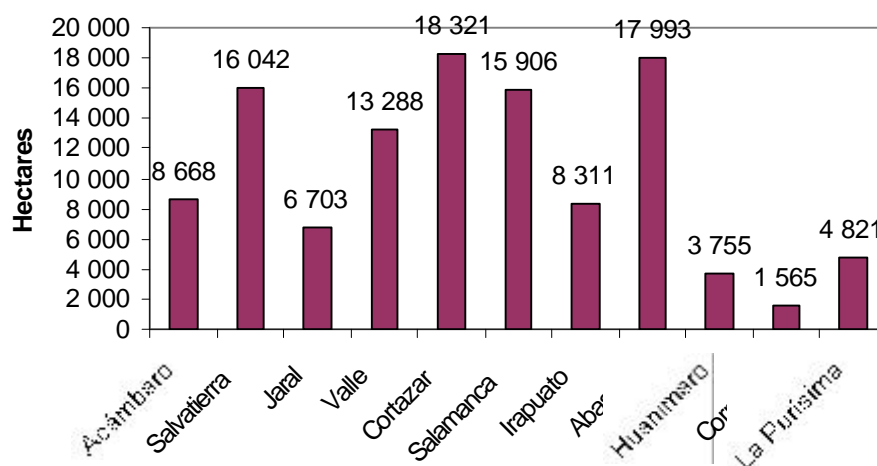
Annexe 18 – Evolution des surfaces nivelées – Module Huanimaro et Irapuato (SDA, 2003)



Annexe 19 – Evolution de la surface nivelée par producteur, et de l'aide gouvernementale à l'hectare (SDA, 2001)



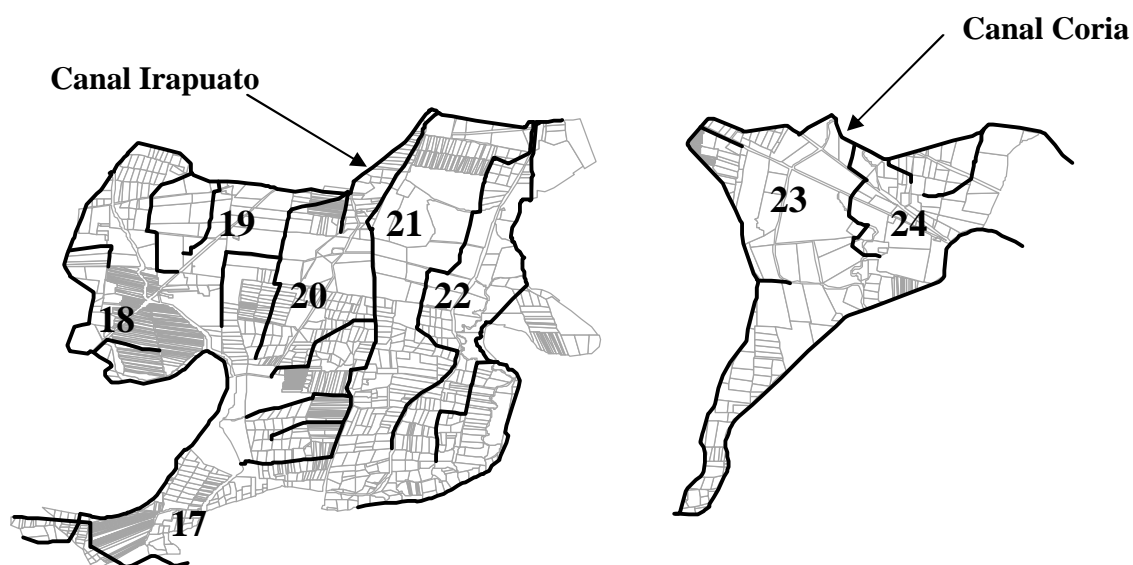
Annexe 20 - Superficie irriguée par module du DR 011 (CNA, 2002)



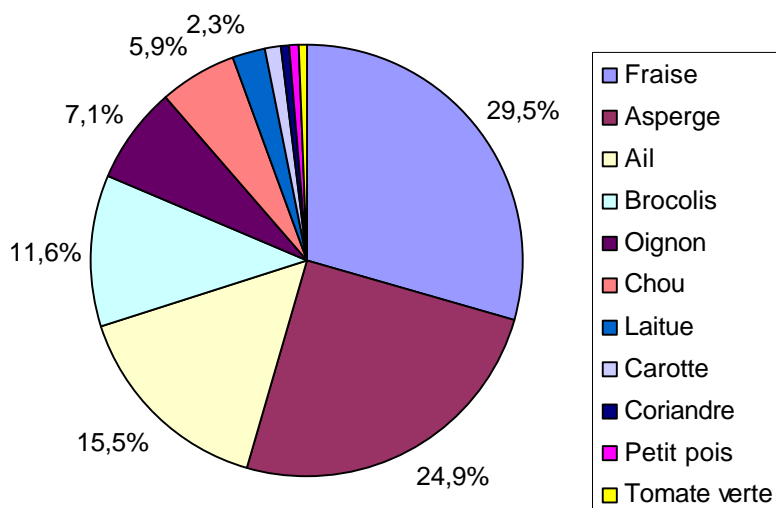
Annexe 21- Caractéristiques des principaux sols rencontrés dans le module

Type de terre	Potentiels de rendement	Comportement par rapport à l'eau
Tierra negra	Vertisols / Fort potentiel de rendement	Garde plus l'humidité
Tierra arenosa	Terres sableuses / Rendements moins bons	Sèche plus vite, 1 irrigation en plus
Tierra lama	Terres limoneuses / Bons rendements	Sèche assez vite, irrigations plus espacées

Annexe 22 – Schéma du réseau d'irrigation, Position des 8 sections – Module d'Irapuato



Annexe 23 – Répartition des cultures maraîchères -Module Irapuato (Module Irapuato, 2004)



Annexe 24– Répartition des irrigations entre cycles agricoles OI et PV, Module d'Irapuato (Module d'Irapuato, 2004)

Année	Nombre d'irrigations	
	OI	PV
97-98	0	1
98-99	4	1
99-2000	4	1
2000-2001	0	1
2001-2002	3	1

2002-2003	3	1
2003-2004	4	1

Annexe 25 – Dates des irrigations PV 2003 et OI 2003-2004, Module Irapuato (Module Irapuato, 2004)

		Date ouverture	Date fermeture
Cycle PV 2003	Irrigation 1	15 mai	14 juin
Cycle OI 2003-2004	Irrigation 1	17 décembre	18 janvier
	Irrigation 2	06 février	29 février
	Irrigation 3	01 mars	31 mars
	Irrigation 4	01 avril	26 avril

Annexe 26 – Exemple d'un relevé de mesure des volumes utilisés quotidiennement (Module d'Irapuato, 2004)

UB. CICLO O - I 2003 - 2004

AFOROS del primer riego

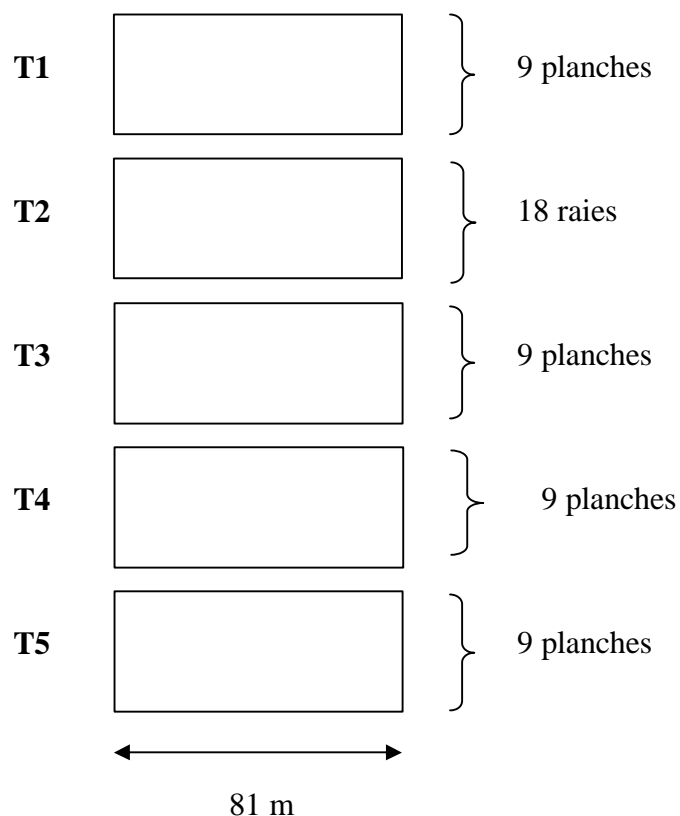
FECHA	MAÑANA 8:00 horas		VOLUMEN	TARDE 17:00 HORAS		VOLUMEN	VOLUMEN POR DIA	VOLUMEN ACUMULADO
	KM. 72	KM.89		KM. 72	KM.89			
							141,1	141,1
6-déc-03	6887	5535	43,80	8898	7581	71,12	256,02	256,02
7-déc-03	8821	6776	66,26	7925	6907	54,97	121,23	377,25
8-déc-03	7546	5535	65,16	7433	5535	102,49	167,65	544,90
9-déc-03	8829	5894	95,09	9793	5774	234,70	329,79	874,69
10-déc-03	10346	7173	102,81	10790	7173	195,32	298,12	1172,81
11-déc-03	10703	7581	101,15	10703	6907	204,98	306,14	1478,95
12-déc-03	10502	6766	121,05	10429	6647	273,33	394,38	1873,33
13-déc-03	12539	7308	169,48	12409	8000	238,09	407,57	2280,90
14-déc-03	11873	8143	120,85	11942	7719	228,04	348,89	2629,79
15-déc-03	11836	7719	133,39	11806	7859	213,14	346,53	2976,32
16-déc-03	11913	8000	126,78	11852	7859	215,62	342,40	3318,72
17-déc-03	11872	7719	134,56	11942	7719	228,04	362,60	3681,32
18-déc-03	12510	7859	167,15	13120	7859	284,09	451,24	4132,56
19-déc-03	13435	8143	171,96	13433	7859	301,00	472,96	4605,52
20-déc-03	13468	8287	167,86	13313	8287	271,40	439,27	5044,79
21-déc-03	13343	8287	163,81	13287	8287	270,00	433,81	5478,60
01-janv-04	13306	8287	162,62	13391	8287	275,62	438,23	5916,83
02-janv-04	13460	8287	167,61	13635	8287	288,79	456,40	6373,23
03-janv-04	13802	8287	178,69	13879	8287	301,97	480,65	6853,88
04-janv-04	13844	8431	175,38	13821	8431	291,06	466,44	7320,32
05-janv-04	13598	8287	157,80	12909	8000	265,09	422,89	7743,21
06-janv-04	12045	7581	157,98	10602	4963	304,51	462,49	8205,70
07-janv-04	10659	5894	154,39	10598	5894	254,02	408,40	8614,10
08-janv-04	10563	5894	151,28	10501	5894	248,78	400,05	9014,15
09-janv-04	10374	5684	151,96	10392	5654	255,85	407,81	9421,96

10-janv-04	9588	5894	mov. Del 72 10:45 del 89 14:00hrs.	109,94	8349	4214	223,29	333,23	9755,2
11-janv-04	6449	4214	mov. Del 89 14:30	81,07	6220	3251	160,33	241,40	9996,6
12-janv-04	5087	2987	mov. Del 89 12:00hrs. Del 72 18:00	81,09	5195	2262	110,14	191,23	10187,8

Annexe 27 – Exemple d'un relevé de canalero, Section 17, Module Irapuato (Module Irapuato, 2004)

SEC ION	CUENTA	NOMBRE DEL USUARIO	UP. FIS	SUP. PAG.		SUP. REGADA			
				1er RIEGO.	CULTIVO	1er. R	CULTIVO	VOL. NTO.	FECHA
17	2347	NAJERA BARBOZA JOSE ELIZARRARAZ FRAUSTO	1,30						
17	2348	CLEMENTE	3,70	1,90	CEBADA	1,90	cebada	4,32	04/01/2004
17	2348	ELIZARRARAZ ANGEL MORALES ANDRADE	1,90						
17	2349	GERARDO	0,25						
17	2349	NAJERA S. BERNARDO	1,55	1,55	TRIGO	1,55	TRIGO	3,45	13/01/2004
17		NAJERA S. BERNARDO	2,25						
17		NAJERA S. BERNARDO MORALES ANDRADE	1,55						
17	2352	AMBROCIO MORALES ANDRADE	2,20	2,20	TRIGO	2,20	TRIGO	5,18	08/01/2004
17		AMBROCIO	0,50						
17		MORALES ANDRADE AMBROCIO	2,15		1.00gar procampo				
17	2353	MORALES NAJERA REFUGIO	2,00		no se rego nacio con las lluvias				
17		MORALES NAJERA REFUGIO	0,25						
17		MORALES NAJERA REFUGIO	2,10						
17		MORALES NAJERA REFUGIO NAJERA ELIZARRARAZ	0,45						
17	2354	NICOLAS	0,70						
17		NAJERA ELIZARRARAZ NICOLAS	2,20	1,50	CEBpara procampo				
17		NAJERA ELIZARRARAZ NICOLAS	3,15						
17	2356	NAJERA VARGAS SOLEDAD	3,45	3,45	TRIGO	3,45	TRIGO	7,9	05/01/2004
17		NAJERA VARGAS SOLEDAD	0,25						
17		NAJERA VARGAS SOLEDAD MARTINEZ MARTINEZ	1,60						
17	2357	FRANCISCO	3,10			1,90	cebada	4,32	09/01/2004
17		MARTINEZ MARTINEZ FRANCISCO	0,60						
17	2357	MARTINEZ J. ABELARDO	1,70	1,70	CEBADA	1,70	cebada	3,88	28/12/2003
17	2357	MARTINEZ E. HELIO	0,25						
17	2358	MARTINEZ JIMENEZ JUAN	1,90						

Annexe 28 – Schéma de l'expérimentation INIFAP



Annexe 29 – Valeurs des humidités résiduelles par traitement avant chaque irrigation (Laboratoire INIFAP)

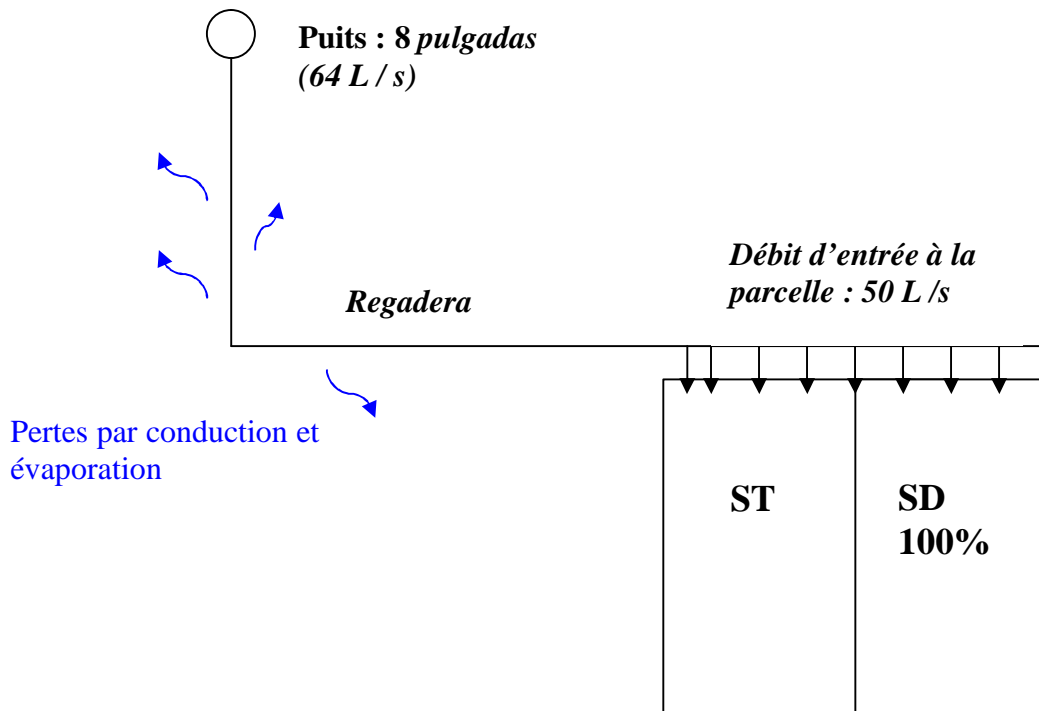
• **Parcelles Valle de Santiago**

Traitement	Humidité pondérale relative (%)	
	Avant irrigation 2	Avant irrigation 3
<i>T1</i>	24,1	19,6
<i>T2</i>	25,9	20,8
<i>T3</i>	26,1	21,7
<i>T4</i>	26,5	22,1
<i>T5</i>	27	27,5

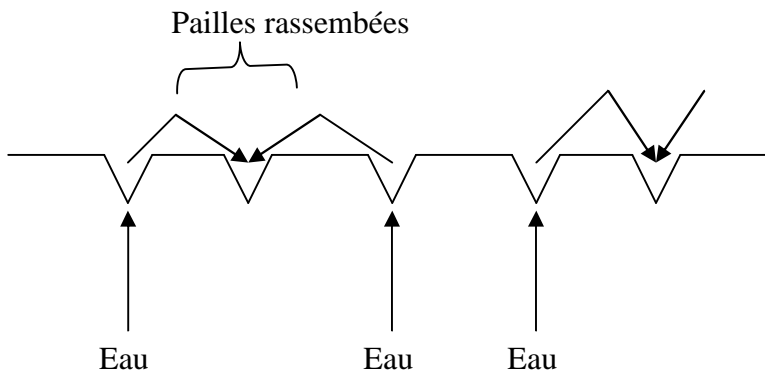
• **Parcelles Penjamo**

Traitement	Humidité pondérale (%)			
	Avant irrigation 1	Avant irrigation 2	Avant irrigation 3	Avant irrigation 4
<i>T1</i>	22,5	25,5	22,1	19,6
<i>T2</i>	20,2	28,9	22,9	20,2
<i>T3</i>	27,7	29	22,3	23,8
<i>T4</i>	26,4	28,1	24,7	23,6
<i>T5</i>	27,3	30,4	25,7	25,1

Annexe 30– Schéma du dispositif suivi d'irrigation à la parcelle



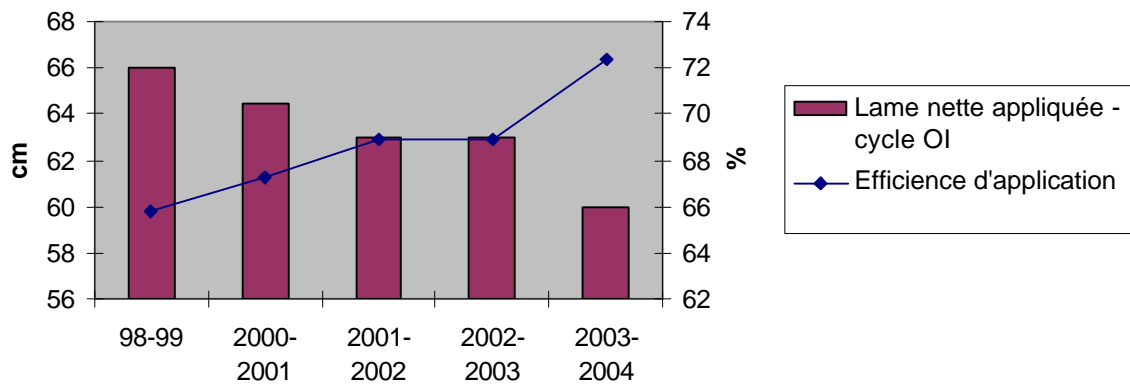
Annexe 31 – Un dispositif ingénieux pour lutter contre le ralentissement de l'irrigation dû aux pailles



Annexe 32 – Résultats évolution des lames d'eau à la parcelle après nivellement, Module Huanimaro

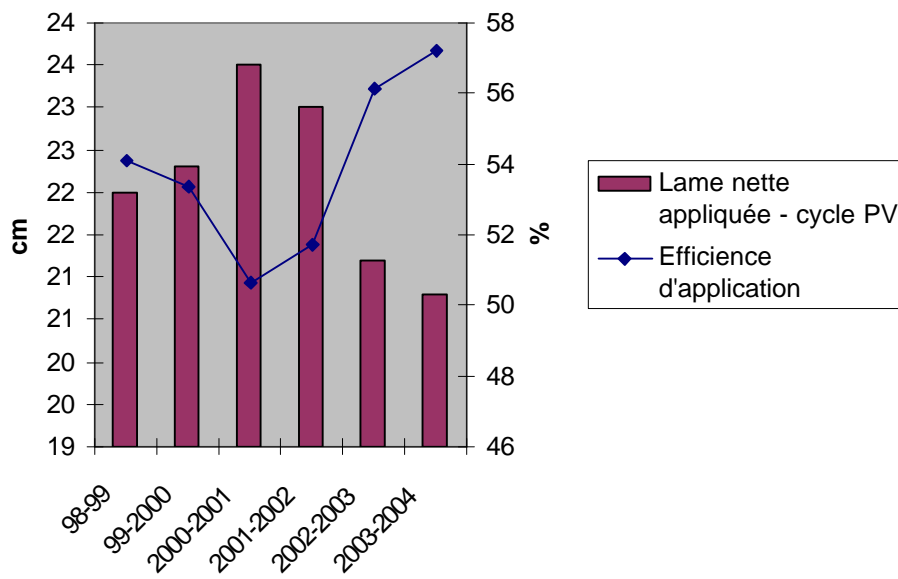
Cycle OI

Parcelle 4 - Nivellement avril 2002

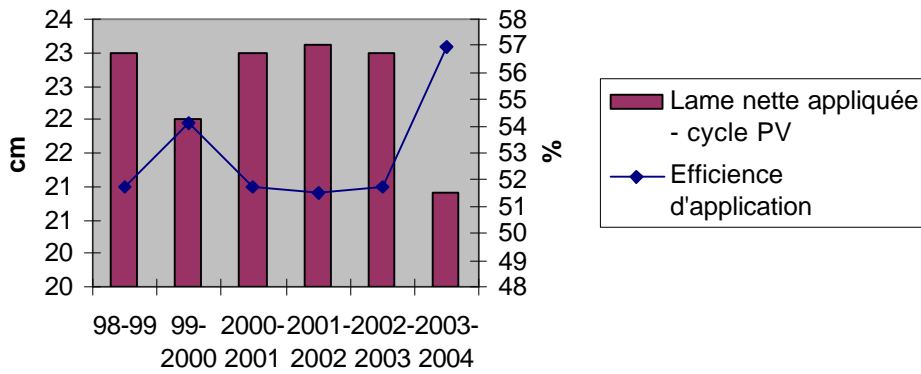


Cycle PV

Parcelle 1- Nivellement en nov 2002



Parcelle 2 - Nivellement en avril 2003



Parcelle 4 - Nivellement en avril 2002

