

La mise en œuvre de pratiques innovantes en vue de mieux valoriser la ressource en eau chez les agriculteurs

Jean-Marc Deumier⁽¹⁾, Claude Jacquin⁽¹⁾, Marc Berrodier⁽¹⁾, Bernard Lacroix⁽¹⁾, Alain Bouthier⁽²⁾

⁽¹⁾ ARVALIS - Institut du végétal, 6 Chemin de la Côte Vieille, 31450 Baziège

⁽²⁾ ARVALIS - Institut du végétal, Domaine Expérimental du Magneraud, 17700 Saint-Pierre d'Amilly

Résumé

L'irrigation est une technique aux coûts fixes élevés et structurante pour les exploitations agricoles. Le chantier d'irrigation des grandes cultures présente une forte inertie. Aussi, les décisions stratégiques prises avant la campagne d'irrigation, choix d'assolement et plan prévisionnel d'irrigation, influent beaucoup sur les décisions tactiques prises pendant la période d'arrosage, en particulier le pilotage des irrigations. Les innovations, pour qu'elles puissent être acceptées, doivent prendre en compte ces contraintes. Les actions d'analyse des systèmes irrigués associant les irrigants, les organismes de développement et les organismes de recherche sont à développer afin d'enrichir les réflexions individuelles et collectives.

Abstract

Irrigation is a technique with high fixed costs and structuring for farms. The crop irrigation site has a strong inertia. As a consequence, strategic decisions taken before the irrigation season, such as choice of cropping plan and irrigation forecasting programme, have a significant effect on the tactical decisions taken during the irrigation season, especially on irrigation scheduling. To be accepted, innovations must take into account these constraints. The shares of irrigation systems analysis involving farmers, farm advice agencies and research organizations should be developed to enrich the individual and collective thoughts.

1. Les spécificités de l'irrigation

Parmi les techniques culturales (semis, fertilisation, traitements phytosanitaires, ...), l'irrigation présente des caractéristiques particulières. Celles-ci sont bien perçues par les agriculteurs pour qui faire partie du groupe des « irrigants » ou des « non irrigants » a une certaine signification.

1.1. Une technique structurante avec des coûts fixes élevés

L'accès à la ressource en eau et sa distribution dans les parcelles représentent des coûts élevés. Une enquête récente réalisée en Midi-Pyrénées en 2005 montre que les coûts d'irrigation sont très variables d'une exploitation à l'autre (Figure 1). La moyenne des coûts des exploitations enquêtées est de 360 € par hectare irrigué avec 275 € pour les coûts fixes et 85 € pour les coûts variables (proportionnels au volume d'eau consommée) (Figure 2), soit au total un équivalent moyen de 20 à 25 q/ha de maïs. Ces coûts représentent environ 20 à 25 % des coûts totaux nécessaires pour cultiver du maïs.

L'irrigation est donc une technique chère avec des durées d'amortissement technique des installations qui varient de 9 à 21 ans selon le type de matériel ou d'installation.

Choisir d'irriguer engage donc l'avenir pour 15-20 ans pour une installation individuelle et évidemment plus pour une installation collective.

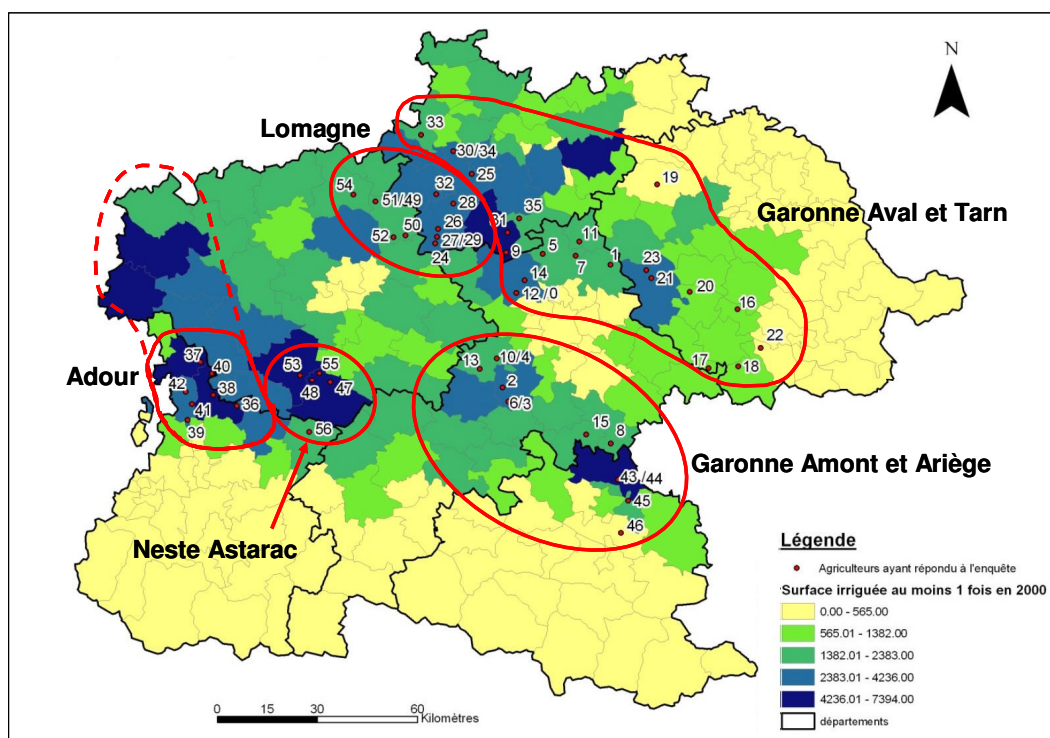
1.2. Un chantier avec une forte inertie

La durée du tour d'eau, temps nécessaire pour effectuer un apport d'eau sur toutes les parcelles, varie de 3 à 15 jours en aspersion avec le plus souvent une durée de 7 à 8 jours. Cette durée relativement longue du tour d'eau a pour conséquence pratique une anticipation fréquente des apports d'irrigation par rapport à la date prévue de début du stress hydrique.

Par ailleurs, les installations d'irrigation sont souvent sous-dimensionnées par rapport aux besoins de pointe. La composante « débit » de la capacité d'irrigation (Deumier et al, 2005) est souvent plus faible que la demande climatique de pointe. Par exemple, en Midi-Pyrénées les installations d'irrigation sont calculées pour apporter 4,3 mm/jour en sol de brousses moyennes (30 mm tous les 7 jours par exemple), alors que les besoins de pointe moyens décennaux pour un maïs (kc ETP) se situent à 5,5 mm/jour en juillet au moment de la floraison, période de grande sensibilité au stress hydrique.

Figure 1 : Coûts de l'irrigation en Midi-Pyrénées

Etude réalisée auprès de 57 irrigants de Midi-Pyrénées (cf. localisation) par ARVALIS – Institut du végétal en collaboration avec les Chambres d'Agriculture de Midi-Pyrénées et le CETIOM.



Localisation des exploitations enquêtées

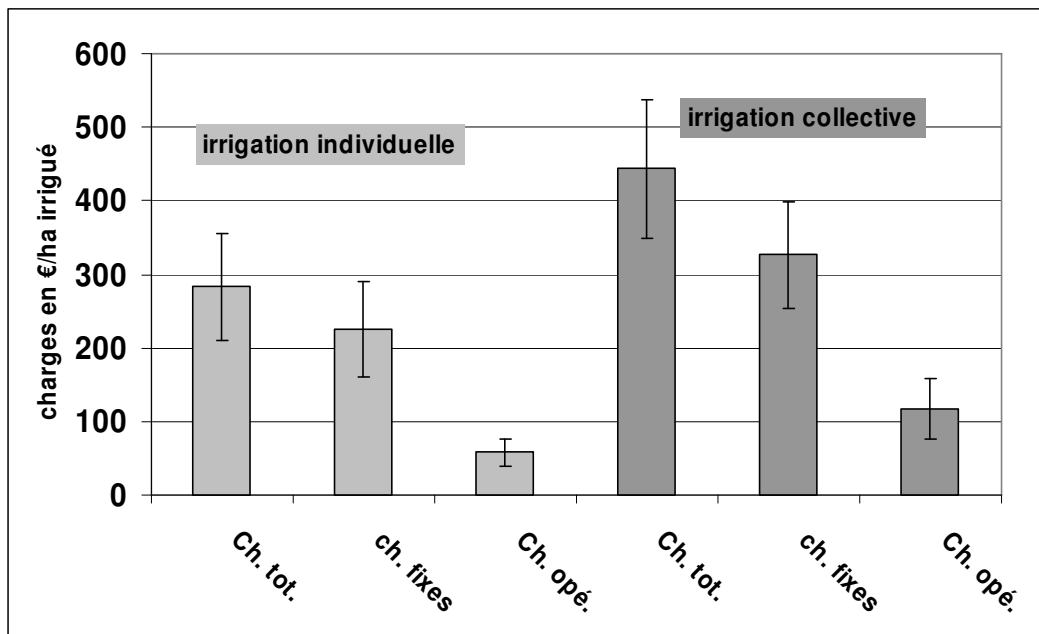


Figure 2 : Charges totales d'irrigation dont charges fixes et opérationnelles en irrigation individuelle et collective (enquête Midi-Pyrénées 2005). Les charges fixes comprennent les charges d'accès à la ressource en eau (ressource en eau, canalisation, pompes). Les charges opérationnelles comprennent le coût de la mise en pression de l'eau, souvent une partie du transport de l'eau pour les réseaux et la redevance perçue par l'Agence de l'Eau.

Aussi, les irrigants ont-ils tendance à maintenir élevé le rythme des apports durant la période avant la floraison du maïs de manière à éviter de se trouver en difficulté pendant la période à fort besoin en eau.

Cette pratique est aussi parfois liée aux déclenchements tardifs des arrosages consécutifs à des mises en place retardées des installations d'irrigation par le dernier apport d'azote sur maïs ou par des problèmes d'organisation. Ceci est particulièrement vrai pour la couverture intégrale de sprinklers.

1.3. Un matériel ancien qui attend d'être renouvelé

C'est probablement une caractéristique des équipements du Sud-Ouest plus que celle de régions où cette technique est plus récente. Le matériel d'irrigation des 57 exploitations de Midi-Pyrénées étudiées en 2005 était âgé en moyenne de 11 ans, cette moyenne cachant une très forte variabilité (Figure 3).

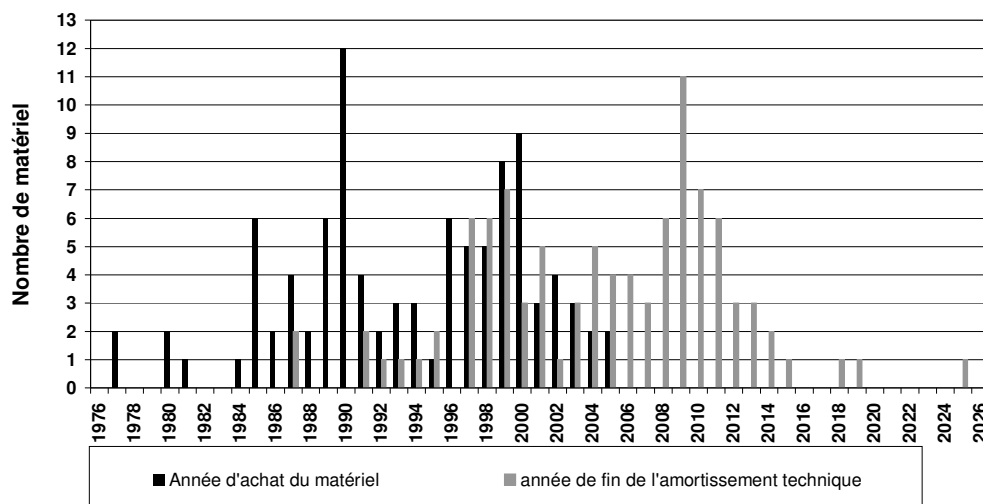


Figure 3 : Age du matériel d'irrigation: année d'achat et de fin d'amortissement technique (enquête Midi-Pyrénées 2005)

50 % de ce matériel avait atteint l'amortissement technique et seulement 8% des agriculteurs envisageaient un renouvellement dans les 5 ans à venir. Le taux de renouvellement était alors très faible de l'ordre de 2 % dans le département de la Haute-Garonne (Deumier et al, 2005).

1.4. Une main d'œuvre qualifiée

L'irrigation nécessite une main d'œuvre qualifiée et responsable. C'est le chef d'exploitation qui le plus souvent met en place l'installation, déplace les enrouleurs et surveille le bon fonctionnement pendant la campagne. Quand on doit faire appel à la main d'œuvre salariée, les coûts sont élevés compte tenu de la qualification demandée.

Ceci est d'autant plus vrai que le travail reste pénible malgré les améliorations réelles apportées depuis 20 ans : surveillance jour-nuit indispensable, interventions en conditions humides et par fortes chaleurs.

C'est aussi un travail centré sur l'été alors que la grande majorité des actifs est en vacances !

2. Les décisions stratégiques sont dominantes par rapport aux décisions tactiques

La problématique de la maîtrise de l'irrigation dans les systèmes de grandes cultures est fortement déterminée par le coût élevé de l'irrigation relativement aux produits dégagés par ces cultures. Ce coût élevé induit une forte inertie de ces systèmes tant pour la gestion pluriannuelle que pour la gestion annuelle.

Dans ce contexte, les questions des irrigants de grandes cultures dépassent largement le thème souvent abordé et réducteur de la conduite des irrigations. Elles concernent la maîtrise globale de leurs systèmes irrigués par la recherche d'une utilisation optimale des moyens d'arrosage : ressource en eau, main d'oeuvre et matériel.

On ne reviendra pas ici sur les décisions hautement stratégiques de se lancer ou pas dans l'irrigation, moins d'actualité depuis quelques années. On s'intéressera aux décisions annuelles de gestion du système irrigué.

Le premier choix est celui de l'assolement de la sole irrigable.

Il est réalisé en tenant compte des contraintes de ressource en eau, de matériel et de main d'oeuvre, du contexte économique et réglementaire (prix des produits, montant des aides compensatoires et limites sur les surfaces aidées, coût des intrants et notamment de l'eau,...) : quelles cultures et parmi elles quelles cultures irriguer ? Pour chaque culture, quel objectif de production viser et quel objectif de marge espérer ?

En même temps, la ressource en eau (volume et débit) est répartie *a priori* afin d'atteindre les objectifs de production :

- par espèce en fonction des objectifs de rendement et des priorités entre espèces,
- dans le temps, en tenant compte de l'objectif de niveau d'alimentation hydrique et des contraintes d'organisation du chantier d'irrigation, éventuellement du rationnement des espèces.

Ce choix se fait en deux temps :

- à l'automne avant d'implanter les cultures d'hiver en tenant compte d'information sur la disponibilité de la ressource en eau encore très incertaine (excepté le cas des nappes à gestion pluriannuelle),
- au printemps où l'information sur la ressource en eau est plus nette, mais où la marge de manœuvre est déjà fortement réduite.

Cette répartition *a priori* de la ressource structure fortement la campagne d'irrigation.

Le plan prévisionnel d'irrigation et particulièrement le plan d'utilisation du matériel d'irrigation dépendent évidemment du choix d'assolement. Quand l'agriculteur décide son assolement, il connaît le plus souvent son organisation générale pour la campagne d'irrigation : plans des positions d'arrosage des matériels, enchaînement des positions d'arrosage du tour d'eau, priorité entre cultures....

Aussi, les décisions de conduite de l'irrigation se limitent généralement à l'adaptation d'un plan prévisionnel d'arrosage en tenant compte des événements climatiques et culturels en cours de campagne.

3. Maîtrise des systèmes irrigués et accompagnement des irrigants : conseil de masse, de groupe, individuel et outils d'aide à la décision

L'accompagnement des irrigants se doit d'aborder plusieurs thématiques : accès à la ressource en eau (« petite » et « grande » hydraulique), aspects juridiques et réglementaires, installation et matériel d'irrigation, aspects économiques, agronomiques, socio-économiques...

Il prend la forme de conseils et d'outils d'aide à la décision (Tableau 1).

Tableau 1 : Maîtrise des systèmes irrigués et accompagnement des irrigants

CHOIX STRATEGIQUES					CHOIX TACTIQUES		
Pour plusieurs années	Décision annuelle : à chaque évolution du contexte économique, hydraulique, réglementaire				Chaque semaine		
					Adaptation des stratégies aux événements climatiques, « culturels » et hydrauliques (ressource en eau)		
- Accès à la ressource - Aspect réglementaire et juridique - Dimension et choix des	Ajustement de l'assolement de la sole irrigable aux contraintes	Stratégie d'irrigation par espèce	Stratégie d'irrigation inter espèces	Plan d'utilisation du matériel d'irrigation - réglage <i>a priori</i>	Pilotage des irrigations en ressource en eau suffisante	Pilotage des irrigations en ressource en eau restrictive	Régulation du matériel d'irrigation en temps réel

équipements - Main d'œuvre - Assolement de la sole irrigable - Financement							
OUTILS, METHODES ET UTILISATEURS							
En veille depuis quelques années : probable regain d'activité à l'avenir	- études régionales lors d'évolution du contexte économique ou réglementaire : utilisation de LORA (INRA ARVALIS 1989) - assolement "collectif" : cas de gestion collective de ressource en eau déficitaire - Chambres d'Agriculture	- IRMA (pluri-espèces - INRA ARVALIS 1992) MODERATO (maïs - INRA ARVALIS 2001) - Utilisés par ARVALIS et Cemagref dans des études régionales comme outil d'analyse ou pour bâtir des interfaces "agriculteurs" - COGITO (Agro-Transfert Poitou Charentes, INRA) : utilisation pour évaluer les besoins en eau du maïs et sorgho (STICS)	Références expérimentales : peu ou pas de méthodes et d'outils	IRRIPARC Cemagref ARVALIS 1998 - Utilisé dans des études régionales pour bâtir des fiches régionales d'utilisation du matériel	Conseil de masse (très pratiqué) : avertissement irrigation à partir de parcelles de références - Chambres d'Agriculture Conseil de groupe : à partir de parcelles de références - Chambres d'Agriculture Organismes économiques NB : utilisation de COGITO temps réel pour améliorer l'expertise Conseil individuel : organismes économiques, chambres d'agriculture Outils d'aide à la décision : IRRINOV® ARVALIS et partenaires Chambres d'Agriculture Organismes économiques, BHYP (CA31), GIRRIG (CA28), autres bilans hydriques...+ bilan hydrique sur internet IRRIBET (ITB), CA45,.....	Conseil de groupe : gestion des tours d'eau (cas de gestion collective d'une ressource déficitaire) - Chambres d'Agriculture Recommandations par espèces : maïs, sorgho, pomme de terre cf. www.arvalinstitutduveg.etal.fr/rubrique/irrigation	Diagnostic d'utilisation des matériels d'irrigation - Chambres d'Agriculture et Cemagref

4. Discussion sur l'utilisation des modèles et outils d'aide à la décision

Tous les modèles construits pour aider aux choix stratégiques (assolement, stratégie d'irrigation par espèce, inter espèces, réglages *a priori* du matériel d'irrigation) ont été et sont utilisés par les instituts techniques et les organismes de recherche, peu ou pas par les organismes de conseil, très rarement par les agriculteurs.

4.1. Décision d'assolement

Les assolements irrigués évoluent peu ou lentement. LORA que nous avons conçu à la fin des années 80 pour les conseillers et les agriculteurs a été et est utilisé par ses concepteurs lors des grandes évolutions de contexte économique et parfois réglementaire : PAC 1992, réflexions sur la gestion collective de la nappe de Beauce (Jacquin et al, 1995), études en Poitou-Charentes, Midi-Pyrénées et Aquitaine sur le devenir des systèmes irrigués avec la PAC 2006 (Moynier, 2006 ; Berrurier, 2007), simulations actuelles et prévues à l'occasion du « bilan à mi-parcours » PAC 2009 et de la PAC 2013. Le logiciel et les simulations sont utilisés pour structurer et alimenter la réflexion de groupes de travail réunissant des responsables professionnels agricoles, des techniciens de Chambres d'Agriculture et d'organismes économiques, des instituts techniques.

4.2. Organisation de l'irrigation avant la campagne

IRMA, MODERATO, IRRIPARC sont aussi utilisés par les concepteurs pour alimenter des réflexions et construire des interfaces utilisateurs : outils d'aide à la décision pour piloter les irrigations, fiches de

réglages. Ces thématiques ont fait l'objet d'études en 2007 dans le cadre de mémoires « bac + 5 » : rapport d'Isabelle HALLOUIN sur les stratégies d'irrigation du maïs en volume limité dans la vallée de l'Arros (65), de Cédric JAFFRY sur les stratégies d'irrigation des pommes de terre en volume limité dans la région du Santerre (80 et 02) et d'Adeline SEGUIN sur les stratégies d'esquive en Poitou-Charentes.

4.3. Pilotage de l'irrigation

IRRINOV® est une méthode de pilotage de l'irrigation à destination des agriculteurs proposé par plusieurs partenaires (ARVALIS, Chambres d'Agriculture organismes économiques). Elle permet de gérer l'irrigation d'un bloc d'irrigation et non d'une parcelle (Bouthier et al, 2003). Elle est paramétrée sur plusieurs espèces : maïs grain, maïs semence, blé dur, blé tendre, orge de printemps, pois protéagineux, pomme de terre et trèfle violet porte-graine.

Elle repose sur 4 grands principes :

- la détermination aux champs de stades repères de l'espèce concernée permettant de délimiter la période d'irrigation et d'appliquer les règles de conduites : pour le maïs stades « 10 feuilles visibles », « floraison femelle » et « humidité du grain 50 % »,
- la proposition d'un rythme « dose-fréquence » de base par milieu (sol, climat) qui permet de couvrir les besoins en eau 8 ans sur 10 ; exemple : 26 mm tous les 6 jours pour les sols de boulbènes dans le Nord de la Haute-Garonne ; la méthode propose de moduler ce rythme en fonction de la tension mesurée dans le sol qui est l'indicateur de la consommation des plantes et de la fourniture en eau du sol,
- la proposition de seuils tensiométriques pour décider le déclenchement des irrigations, pour moduler le rythme « dose fréquence » de base en cours de campagne et pour faciliter la décision de reprise après les pluies,
- un ensemble de règles précises pour utiliser la tensiométrie.

Le dernier bilan des ventes des guides régionaux de la méthode IRRINOV® (2004) avant le transfert sur arvalisinstitutduvegetal.fr (2005 : accès quasi-gratuit) faisait état de 690 guides vendus et de 400 guides diffusés auprès des responsables professionnels et des institutionnels.

Depuis les guides sont consultés et téléchargés par les organismes de conseil et économiques à raison d'environ 150 à 200 consultations par an.

Un bilan global de la méthode IRRINOV® peut être dressé à ce jour : une méthode de pilotage élaborée en partenariat et qui fait référence, souvent utilisée par les organismes de conseil pour suivre les parcelles de références et utilisée par quelques agriculteurs.

L'apprentissage de la méthode par les agriculteurs serait à développer. Par exemple, la règle de décision de fin d'irrigation du maïs proposée par la méthode qui combine l'évaluation d'un stade de la culture, l'évaluation de l'état hydrique du sol et les prévisions météorologiques est plus ou moins bien mise en œuvre par les irrigants ; la mise en œuvre passe par une adhésion aux termes de la règle pour les différents contextes pédoclimatiques, ce qui n'est pas acquis entre autres par l'insuffisance de consensus (même entre techniciens) et le nombre limité de démonstrations chez les agriculteurs (dû en particulier à la lourdeur des essais irrigation). La mise en œuvre passe aussi par le repérage au champ du stade « humidité du grain 50% ». Les avertissements irrigation ont bien assimilé cette idée par une diffusion systématique des stades observés sur les parcelles de référence auxquelles les irrigants peuvent comparer leurs propres parcelles. La diffusion et la mise en œuvre de la méthode d'observation morphologique des grains par les irrigants pour déterminer ce stade sont probablement très insuffisantes. Voilà donc une innovation qui reste en partie dans les guides faute d'apprentissage.

D'autres outils, utilisant le bilan hydrique comme indicateur de l'état hydrique du sol, sont diffusés : BHYP (CA 31), GIRRIG (CA28),... Plus récemment certains outils sont utilisables via internet (IRRIBET (ITB), site CA 45,...).

Force est de constater que tous ces outils sont utilisés par les agriculteurs s'il existe un accompagnement technique rapproché par les techniciens : suivi en cours de campagne et bilan en fin de campagne. Ils sont d'autant plus utilisés qu'ils sont non seulement pertinents mais aussi simples d'utilisation.

Ne faut-il pas limiter leur objectif à renseigner l'agriculteur sur l'état calculé ou mesuré du sol (état hydrique) et de la plante (stade, état de croissance) et sur l'état probable les jours suivants en utilisant les prévisions météorologiques ou le climat historique ?

L'utilisation de ces outils par des groupes d'irrigants est aussi l'occasion pour les techniciens de connaître et d'analyser les pratiques. Nous écrivions en 2005 (Deumier et al, 2005) : «...les informations des suivis individuels BHYP et IRRINOV® sont synthétisées afin de réaliser des bilans de campagne et de les présenter aux irrigants.

On constate en 2000, année humide (tableau 2), que 70 % des îlots gérés avec un outil de pilotage individuel sont bien irrigués. Moins de 30 % des îlots reçoivent une irrigation excédentaire. En 2003, année très sèche, seulement 34 % des îlots sont bien arrosés. Dans 56 % des cas, la capacité d'irrigation des installations n'a pas été suffisante pour couvrir les besoins en eau du maïs.

Ces chiffres illustrent bien que la qualité des pratiques dépend beaucoup du climat de l'année. En année sèche, il y a peu de pratiques excédentaires. En année plus humide (qu'on ne peut qualifier d'humide qu'a posteriori !), il y a plus de pratiques excédentaires compte tenu de la nécessaire anticipation des irrigations par rapport aux besoins due à l'inertie des chantiers d'irrigation. Ainsi, les volumes apportés ne sont pas directement proportionnels aux déficits climatiques observés et c'est en année à déficit modéré (7 à 8 années sur 10) que les outils de pilotage peuvent être les plus efficaces.»

Tableau 2 : Bilan des pratiques en 2000 et 2003 pour les îlots d'irrigation gérés avec un outil de pilotage individuel (Chambre d'Agriculture Départementale de la Haute-Garonne)

	2000	2003
déficit hydrique climatique	médian	très élevé
nombre total d'îlots irrigués analysés	81	172
% des îlots où la dose d'irrigation est inférieure à 90 % de la dose optimale	4	56
% des îlots où la dose d'irrigation est comprise entre 90 % et 110 % de la dose optimale	69	34
% des îlots où la dose d'irrigation est supérieure à 110 % de la dose optimale	27	10

Cette analyse montre les limites et le cadre d'utilisation des outils de pilotage.

Qu'en sera-t-il à l'avenir ? Le développement de nouveaux capteurs de mesure de l'état hydrique du sol et l'interrogation à distance des données permettront-ils un développement plus important de ces outils par les agriculteurs ? Attention toutefois aux dangers des utilisations « presse-bouton » avec pour conséquence immédiate des rejets brutaux et durables par les utilisateurs suite à des échecs inévitables avec ce type d'utilisation ! Ou plus probablement, ces capteurs et les nouvelles technologies de l'information ne vont-elles pas aider au développement du conseil individuel ou du conseil de groupe à partir de parcelles de références ?

4.5. Connaissance des pratiques et analyse prospective avec les irrigants

Les pratiques d'irrigation sont assez mal connues et nos réflexions sur cette thématique sont à préciser. Par ailleurs, les irrigants ne comprennent pas toujours très bien les conclusions des analyses conduites sur l'irrigation. Elles leur paraissent en effet souvent décalées par rapport à leurs préoccupations. Aussi gagnerait-on probablement en efficacité en développant des travaux associant étroitement les irrigants.

A ce titre, le programme de l'UMT « Outils et méthodes pour la gestion quantitative de l'eau : du bloc d'irrigation au collectif d'irrigants » (ARVALIS, INRA, CETIOM) devrait y contribuer, en particulier le travail engagé avec trois collectifs d'irrigants de Midi-Pyrénées dans le cadre du projet CasDar « *Connaissance, adaptation et amélioration de la gestion quantitative de l'eau avec des collectifs d'irrigants de Midi-Pyrénées par le développement et l'utilisation de méthodes et d'outils adaptés* » (Chambre Régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées, Chambres Départementales d'Agriculture du Gers, de la Haute-Garonne et des Hautes-Pyrénées, Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne, ARVALIS – Institut du végétal, CETIOM, INRA, Cemagref).

Références bibliographiques

- Bergez J.E., Debaeke P., Deumier J.M., Lacroix B., Leenhardt D., Leroy P., Wallach D., 2001. MODERATO : an object-oriented decision tool for designing maize irrigation schedules. *Ecological Modelling* 137, 43-60.
- Bergez J.E., Deumier J.M., Lacroix B., Leroy P., Wallach D., 2002. Improving irrigation schedules by using a biophysical and decisional model. *European Journal Agronomy* 16, 123-135.
- Bergez J.E., Nollet S., 2003. Maize grain yield variability between irrigation stands: a theoretical study. *Agricultural Water Management* 60, 43-57.
- Berrodier M., 2007. Evolution des systèmes de grandes cultures irriguées en Midi-Pyrénées. Rapport d'étude, 18p.
- Bouthier A., Deumier J.M., Lacroix B., 2003. IRRINOV®, une méthode au service des producteurs pour piloter l'irrigation du maïs consommation, des céréales à pailles et du pois de printemps, ICID 54th meeting workshop « Technologies et méthodes modernes d'irrigation : recherche, développement et essais », 18-19 septembre 2003 – Montpellier
- Deumier J.M., Boussaguet J., Mailheau M., 2005. Stratégie des agriculteurs, pilotage et ajustement des apports d'eau aux besoins en eau des cultures. Actes du colloque « Eau et agriculture durable » SIMA 1^{er} mars 2005 - Cemagref
- Deumier J.M., Jacquin C., Leroy P., 1995. Simulateur de conduite des irrigations. Rapport de l'étude réalisée avec le concours du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche et de l'Alimentation. ITCF-INRA, Paris.
- Deumier J.M., Leroy P., Jacquin C., Balas B., Bouthier A., Lacroix B., Bergez J.E., 2006. « Gestion de l'irrigation au niveau de l'exploitation agricole », dans *Traité de l'irrigation* 2^{ème} édition, édition Lavoisier, p. 1120 - 1137.
- Guiberteau M., 1999. Etat des lieux des actions de conseil et d'appui technique en irrigation, document de synthèse IRRI-MIEUX, 64 p.
- Hallouin I., 2007. Caractéristiques d'un collectif d'irrigants de la vallée de l'Arros : élaboration de stratégies d'irrigation du maïs pour un cas de ressource en eau restrictive avec le modèle MODERATO. Mémoire de fin d'étude de Master professionnel, Université d'Avignon. 50 p.
- Jacquin C., Bonnefoy M., 1995. Sensibilité de l'exploitation agricole à l'irrigation : exemple d'un secteur de Beauce. Rapport d'étude, 50 p.
- Jaffry C., 2007. Elaboration de stratégies d'irrigation de la pomme de terre en volume limité à l'aide du modèle décisionnel IRMA et du modèle biophysique MAPP, Université d'Angers et Institut National d'Horticulture. 45p.

Lacroix B., Bergez J.E, Deumier J.M., Bouthier A., 2003. MODERATO : simulateur de stratégies de conduite d'irrigation du maïs, ICID 54th meeting workshop « Technologies et méthodes modernes d'irrigation : recherche, développement et essais », 18-19 septembre 2003 – Montpellier

Leroy P., Balas B., Deumier J.M., Jacquin C., 1996. Water management at farm level. Chapitre 4 du rapport de synthèse de contrat CEE. N°8001-CT91-0109 Gestion des ressources limitées en eau : conséquences agro-économiques, 60 p.

Leroy P., Deumier J.M., Jacquin C., 1996. Water management at farm level - Method and tool to support strategic decisions, Management of Limited Water Ressources, rapport final du contrat de l'Union Européenne, n°8001 – CT BALAS 91-0109

Leroy P., Jacquin C., 1994. Un logiciel pour le choix de l'assolement sur le périmètre irrigable d'une exploitation. 17^{ème} conférence régionale européenne sur les irrigations et le drainage ICID/CIID. Varna, Bulgarie, 16-22 mai 1994. Vol 2 : 61-72.

Meillon D., 2001. Economies d'eau en irrigation : évaluation de l'impact du programme d'appui technique aux irrigants de la région Aquitaine, revue Agence de l'Eau Adour Garonne, p. 16 - 20.

Moynier J.L., 2006. Devenir des exploitations irriguées de Poitou-Charentes. Rapport d'étude, 27 p.

Seguin A., 2007. Maïs irrigué : évaluation de la stratégie d'esquive aux contextes du Poitou-Charentes. Mémoire de fin d'études, ESA d'Angers. 89 p.

Wallach D., Goffinet B., Bergez J.E., Debaeke P., Leenhardt D., Aubertot J.N., 2001. Parameter estimation for crop models: a new approach and application to a corn model. Agronomy Journal 93, 757-766.