

## **Des outils d'aide à la décision pour une irrigation et une gestion de l'eau durables en culture de canne à sucre.**

J-L. Chopart, M. Mézino et L. Le Mézo

*Unité de recherche «systèmes canniers», Cirad, 7 ch. de l'Irat, F 97410 St-Pierre, Réunion, France*

### **RESUME**

Une irrigation raisonnée de la canne à sucre nécessite des décisions complexes et fréquentes car elle doit s'ajuster à la variabilité des besoins en eau en fonction du climat et de la croissance de la plante. Cette complexité peut inciter les irrigants à mettre, par précaution, plus d'eau que les besoins réels, avec des conséquences défavorables sur la rentabilité et la durabilité de la production et sur l'environnement. Pour aider l'agriculteur ou le décideur, plusieurs logiciels simples, complémentaires et à vocation pratique ont été récemment élaborés.

Le premier, OSIRI (Outil Simplifié pour une Irrigation Raisonnée et Individualisée), est un outil d'aide à la décision pour les agriculteurs et les responsables de périmètres sucriers. Il propose en particulier: (i) des doses par tour d'eau et par parcelle, pour l'ensemble du cycle, dans l'unité (m<sup>3</sup>, heure) de pilotage de l'irrigation, (ii) une date de début de sevrage. Le second, FIVE-CoRe, estime les volumes optimaux d'eau à apporter compte tenu des besoins de la plante et des contraintes de l'irrigant. Destiné aux décideurs, cet outil aide, par exemple, à l'analyse des consommations en eau des agriculteurs ou des périmètres irrigués. En effet, pour diagnostiquer des apports déviants, il faut connaître les consommations optimales. FIVE-CoRe permet aussi de dimensionner de nouveaux ouvrages d'irrigation (volumes d'eau à prévoir, débits de pointe). FIVE-CoRe et OSIRI contribuent à l'estimation des rendements en renseignant des modèles de croissance de plante. Ils aident enfin à la gestion de l'eau en culture pluviale: dates de plantation, conditions d'alimentation hydrique.

Ces outils peuvent être alimentés par deux logiciels plus spécialisés: ECLAIR pour estimer le climat d'une exploitation à partir d'une base de données météo et RACINE pour estimer la réserve en eau utile du sol. Ces quatre outils peuvent ainsi, ensemble, contribuer à une gestion durable de l'eau de pluie et d'irrigation.

**Mots clés :** Irrigation, canne à sucre, outils d'aide à la décision, gestion durable de l'eau, Ile de la Réunion.

### **INTRODUCTION**

L'eau est indispensable à une bonne production de la canne à sucre et ses besoins en eau de pluie ou d'irrigation sont élevés. Dans les zones à fort ensoleillement, les plus productives, la pluie, souvent insuffisante, est un facteur limitant de la production. L'irrigation est alors un moyen efficace pour améliorer le rendement mais, pour des raisons économiques, sociales, environnementales, l'eau d'irrigation ne doit pas être gaspillée.

Une irrigation raisonnée de la canne à sucre nécessite des décisions fréquentes et parfois complexes car elle doit s'ajuster à la variabilité des besoins en eau de la culture en fonction du climat, de la croissance de la plante et des aléas techniques. Cette complexité peut inciter les irrigants à mettre, par précaution, plus d'eau que les besoins réels.

Pour aider l'agriculteur ou le décideur, plusieurs logiciels simples, complémentaires ont été récemment élaborés. Il s'agit, en particulier, de deux outils d'aide à la décision en irrigation : OSIRI (Chopart et al., 2007a) et FIVE-Core (Chopart et al., 2007b). Pour les utiliser, les informations sur le climat et sur la réserve en eau utile du sol doivent être aussi locales que possible. Deux logiciels plus spécifiques permettent d'alimenter ces outils en informations (i) sur le climat : ECLAIR, (ii) sur le réservoir d'eau dans le sol RACINE (Chopart, 2004). A ce titre, et bien que non indispensables au fonctionnement d'OSIRI et de FIVE-CoRe, ils peuvent être considérés comme faisant partie de la panoplie d'outils contribuant à l'aide à la décision en irrigation mais sont présentés plus succinctement.

Ces outils et les résultats de leur utilisation ont déjà fait l'objet d'articles ou de notes techniques. Toutefois, ils ont toujours été présentés séparément. La complémentarité de fonctions et d'usages de ces outils n'apparaît donc pas encore clairement.

C'est pourquoi, dans ce document, après un bref rappel de la description de ces outils, on s'attachera à préciser et à décrire les cas, virtuels et réels où l'un ou l'autre des deux outils est opérationnel pour aider à la décision en irrigation et en gestion durable de l'eau agricole.

## **1 - METHODES ET OUTILS : PRESENTATION DES OUTILS ET RAPPEL DES VALIDATIONS**

### **FIVE-CoRe**

Le logiciel FIVE-CoRe (Farm Irrigation Volume Estimation according to Constraints and Requirements) est fondé sur le couplage d'un modèle de bilan hydrique quotidien (Chopart et Vauclin 1990) et d'une modélisation des règles de décision en irrigation (Chopart et al., 2007b). Il est destiné aux décideurs pour des études d'ingénierie de la gestion de l'eau agricole.

Il a cinq finalités principales : (i) estimation des consommations optimisées en irrigation (COI), (ii) besoins en eau d'irrigation dans de nouveaux dispositifs (iii) analyse de l'impact de changements techniques ou d'aléas climatiques (iv) comparaison des irrigations par aspersion et en goutte à goutte (v) analyses de sensibilité des COI aux entrées du modèle.

FIVE-CoRe permet ainsi de quantifier : (i) les écarts entre les pratiques d'irrigation réelles et optimisées, donc d'évaluer l'efficacité de l'irrigation, (ii) les volumes d'eau d'irrigation consommés dans différents scénarios et stratégies d'irrigation.

Il a été testé avec succès en comparant les consommations réelles en eau d'irrigation (CRI) mesurées chez environ 500 agriculteurs et les COI modélisées par l'outil (Chopart et al., 2007b).

### **OSIRI**

Dans une exploitation, les besoins en eau de la canne à sucre peuvent être très variables d'une parcelle à l'autre. Les conseils doivent donc être adaptés à chaque secteur d'irrigation. OSIRI (Outil Simplifié pour une Irrigation Raisonnée et Individualisée) aide l'agriculteur ou le responsable d'un périmètre sucrier à décider quand irriguer, quel volume apporter pour satisfaire aux besoins de la culture. OSIRI propose en particulier: (i) des doses par tour d'eau et par parcelle, pour l'ensemble du cycle, dans l'unité ( $m^3$ , heure, mm) de pilotage de l'irrigation, (ii) une date de début de sevrage. Le mode de fonctionnement de cet outil avec tous les algorithmes a déjà été décrit (Chopart et al., 2007a). Le modèle de bilan hydrique utilisé est le même que celui de FIVE-CoRe.

L'outil contient deux modules permettant à l'agriculteur d'ajuster simplement son irrigation aux pluies, lorsque celles-ci s'écartent des pluies prévues statistiquement. Le premier fait des propositions au niveau de chaque unité d'irrigation, son utilisation fait appel à des calculs très simples. Un autre module MAIA: Module d'Ajustement de l'Irrigation par l'Agriculteur (Le

Mézo et al., 2007b) ne demande aucun calcul. Il propose un nombre de jours d'arrêt de l'irrigation en cas de pluies supérieures à celles prévues, pour l'ensemble de l'exploitation. OSIRI peut aussi être utile en culture pluviale, il permet alors d'évaluer les stress hydriques. La validation de l'outil OSIRI a eu lieu dans un dispositif expérimental et en milieu réel (Chopart et al., 2007a). L'utilité et l'acceptabilité de l'outil ont fait l'objet d'une enquête auprès de 25 agriculteurs (Chopart et al., 2007c).

### **ECLAIR et RACINE**

OSIRI et FIVE-CoRe peuvent être alimentés par deux logiciels plus spécialisés. ECLAIR (Estimation du Climat Local pour l'Agriculture et l'Irrigation à La Réunion) permet d'estimer le climat statistique d'une exploitation géo-référencée à partir de données issues de postes météorologiques. L'interpolation entre ces valeurs ponctuelles et celles de l'exploitation se fait grâce à des modèles expérimentaux locaux (Chopart et al., 2003a, Chopart et al., 2003b). Pour OSIRI, le climat statistique issu d'ECLAIR, représentatif de l'exploitation conseillée, permet de calculer le conseil. Pour FIVE-CoRe, ce fichier statistique remplace les valeurs quotidiennes manquantes. RACINE (Chopart 2004) est un logiciel de traitement des données racinaires obtenues in situ. Il contribue à évaluer localement et dans une approche biophysique la réserve en eau utile du sol (RU). La cartographie racinaire, gérée par RACINE, prend en compte la variabilité de la distribution racinaire dont dépendent les capacités d'accès de la culture à l'eau du sol (Chopart, 1996).

### **Disponibilité et utilisation des outils**

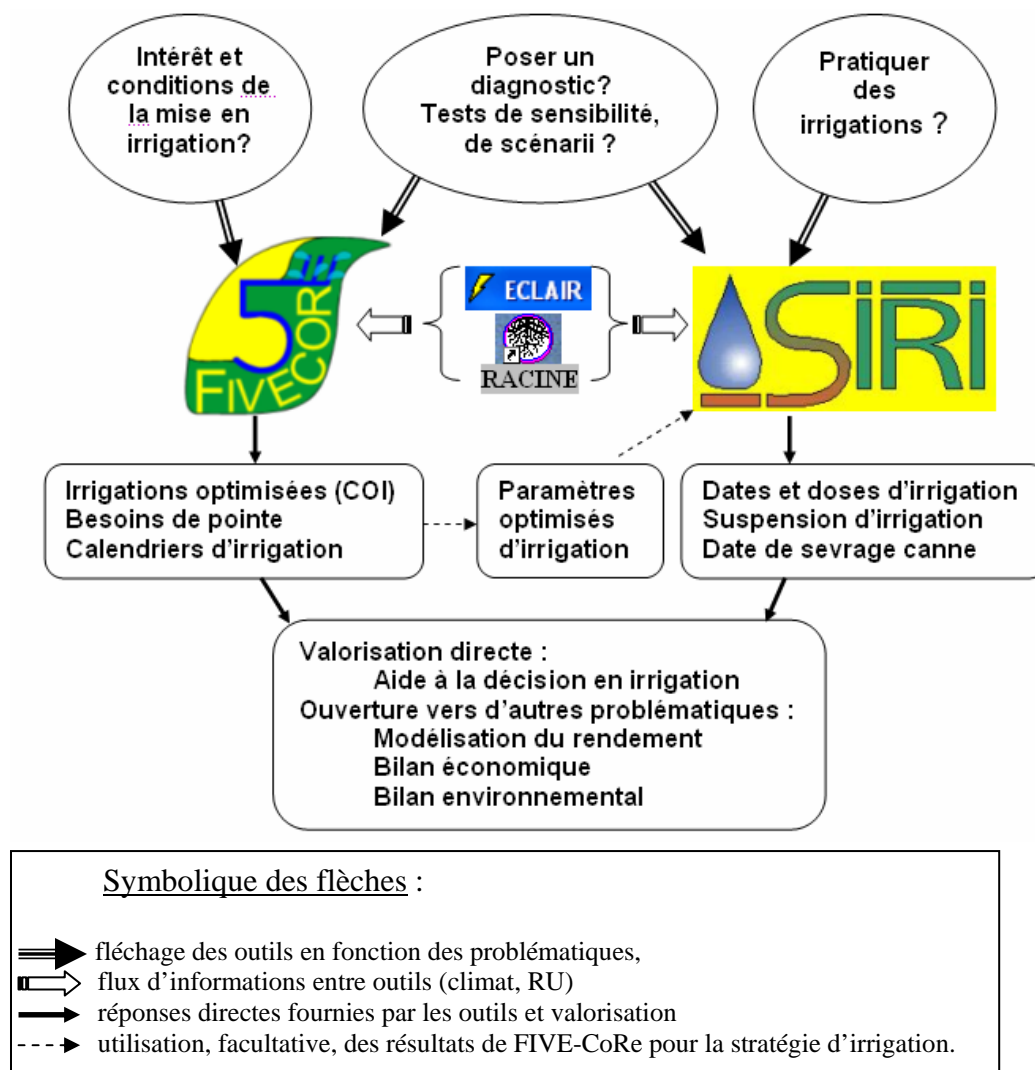
OSIRI et FIVE-CoRe ont fait l'objet d'un dépôt à l'Agence Française de Protection des programmes. Ils sont mis gratuitement à disposition, sous quelques conditions, avec leur guide de l'utilisateur (Le Mézo et al., 2005, Le Mézo et al., 2007a). RACINE est également disponible. ECLAIR, dans sa version actuelle, est inféodé à la base de données climatiques du Cirad à la Réunion. Des adaptations peuvent être élaborées.

## **2 - RESULTATS: EXEMPLES D'UTILISATION D'OSIRI, FIVE-CORE**

Ces quatre outils visent, chacun à leur place, à contribuer à une gestion durable de l'eau de pluie et d'irrigation. Ils sont utilisés à la Réunion pour aider à l'ingénierie en irrigation et aux conseils pratiques aux agriculteurs.

### **Domaine d'utilisation des outils OSIRI et FIVE-CoRe pour l'irrigation**

Afin de montrer la complémentarité des outils, leur domaine de compétence sera d'abord présenté sous forme de cas virtuels. Un organigramme (Fig.1) illustre les relations entre les questions, les outils et leurs utilisations.



**Figure 1 : Utilité des outils OSIRI, FIVE-CoRe, ECLAIR et RACINE dans le domaine de l'ingénierie et de l'aide à la pratique de l'irrigation, ouverture sur d'autres utilisations.**

### Intérêt et conditions de la mise en irrigation d'un site : FIVE-CoRe

Dans une exploitation ou dans un périmètre actuel ou futur, les décideurs se posent différentes questions : *est-il utile de passer d'un système pluvial à la culture irriguée ? Quel système d'irrigation adopter ? Quels sont alors les volumes d'eau et les débits de pointe à prévoir ?* Les informations données par FIVE-CoRe sont: (i) la comparaison, en culture pluviale, des taux de satisfaction des besoins en eau, (ii) les besoins en eau d'irrigation en volume par période de temps en fonction de contraintes pédo-climatiques locales, (iii) les volumes d'eau nécessaires pour irriguer en goutte à goutte ou en aspersion sous différentes hypothèses de modes de fonctionnement.

L'outil donne ainsi des éléments d'analyse de l'intérêt économique, social, environnemental de l'irrigation. Il est aussi possible de transformer les irrigations simulées en gains de rendement; les sorties de FIVE-CoRe (dates et doses d'irrigation) deviennent alors des entrées d'un modèle de simulation du rendement.

A partir de ces informations, les décideurs peuvent dimensionner les réseaux d'arrivée d'eau et évaluer les surfaces maximales irrigables, tenant compte de la ressource en eau disponible ou adapter cette ressource (débit, volume) aux besoins d'un dispositif d'irrigation.

### Pratique de l'irrigation : OSIRI

Le dispositif étant opérationnel, le responsable de l'irrigation doit définir sa stratégie d'irrigation. Il peut privilégier: (i) le rendement en maintenant des conditions optimales d'alimentation hydrique, (ii) la réduction des pertes par drainage, (iii) la productivité de l'eau en acceptant un risque de réduction du rendement. La question posée est : *Quelle est, pour chaque parcelle, la meilleure stratégie d'irrigation ?* L'outil recommandé pour y répondre est OSIRI. Le choix de stratégie se fait à la création du dossier de conseil en début de cycle ou, plus rarement, en cours de végétation, s'il faut changer de stratégie. Le résultat principal est un choix optimisé d'un tour d'eau, de niveaux minimum et maximum de remplissage du réservoir d'eau du sol.

Quand la stratégie est définie, il faut connaître, pour chaque irrigation, les doses à apporter. *Compte tenu des pluies et des irrigations précédentes, du climat local prévisible, combien apporter à chaque irrigation ?* OSIRI propose une fiche de conseil avec des doses d'irrigation à apporter pour tout ou partie du cycle cultural. Il est possible d'ajuster les irrigations aux pluies réelles en utilisant le module interne (ajustement au secteur) ou le module MAIA (ajustement pour toute l'exploitation).

### Analyses de sensibilité, diagnostics, scenarii: FIVE-CoRe ou OSIRI suivant les cas

Le décideur peut être amené à s'interroger sur la qualité des informations nécessaires au pilotage de l'irrigation : *Quelles sont les incidences, sur les résultats, d'imprécisions sur les variables d'entrée de l'outil ?* Les moments privilégiés pour se poser ces questions se situent au tout début du processus de création d'un dispositif et au début du conseil avec OSIRI.

Après la récolte, il est souhaitable de faire des diagnostics: y a-t-il eu trop ou pas assez d'eau d'irrigation par rapport à une consommation optimisée (COI) ? Quelle a été la qualité de l'alimentation hydrique de la culture ? Pour l'estimation des COI, FIVE-CoRe sera le plus adapté, OSIRI ne permettant pas ces calculs. Pour évaluer les conditions d'alimentation hydrique liées aux apports réels (pluies, irrigation), OSIRI sera mieux adapté, car plus simple.

### **Exemples réels d'utilisation de ces outils à la Réunion**

Toutes ces questions se sont déjà posées à la Réunion dans le cadre d'études et de projets réels. Quelques uns vont être présentés. Les exemples d'utilisation de FIVE-CoRe seront plus développés que ceux d'OSIRI, car ses fonctions sont plus variées.

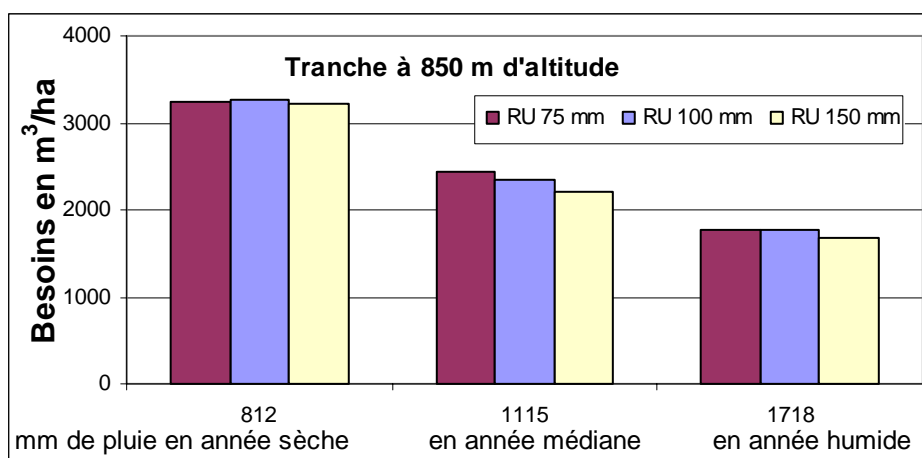
### Utilisation de FIVE-CoRe

#### Cas n°1. Est-il intéressant d'étendre l'irrigation à des zones encore pluviales dans la partie haute de l'aire cannière dans l'Ouest de la Réunion ?

L'irrigation dans la zone Ouest de la Réunion est actuellement limitée à la tranche d'altitude située entre 0 et 800 m. L'aménagement pour l'irrigation de la zone située entre 800 et 1000 m, est réclamée par des agriculteurs. L'intérêt de l'irrigation dans cette zone, déjà pluvieuse, dépend de la rentabilité économique et de facteurs sociaux. L'analyse économique nécessite la connaissance du volume d'irrigation nécessaire.

Une étude de ces besoins a porté sur une période de plus de 30 ans avec une analyse fréquentielle des résultats. Les besoins en irrigation sont de l'ordre de 2000 m<sup>3</sup>/ha et par an en année médiane (Fig. 2). Les besoins de pointe sont de 0.33 l/s/ha. Il y a peu d'influence de la valeur de la réserve en eau du sol ; en revanche, les besoins en eau d'irrigation sont supérieurs pour la canne coupée tardivement, avec des écarts pouvant aller jusqu'à 80% par rapport à une canne coupée en début de campagne. L'irrigation pourrait donc être envisagée sur une partie de l'exploitation. Ces résultats ont servi de paramètres d'entrée à un modèle « plante »

(Martiné, 2003) pour estimer les écarts de rendement entre des cultures pluviales et irriguées. Les différences sont de l'ordre de 10 t/ha /an pour un rendement d'environ 60 t/ha/an en culture pluviale. Tous ces résultats vont aider les décideurs dans leur choix de financer, ou non, l'extension de l'irrigation à la zone considérée.

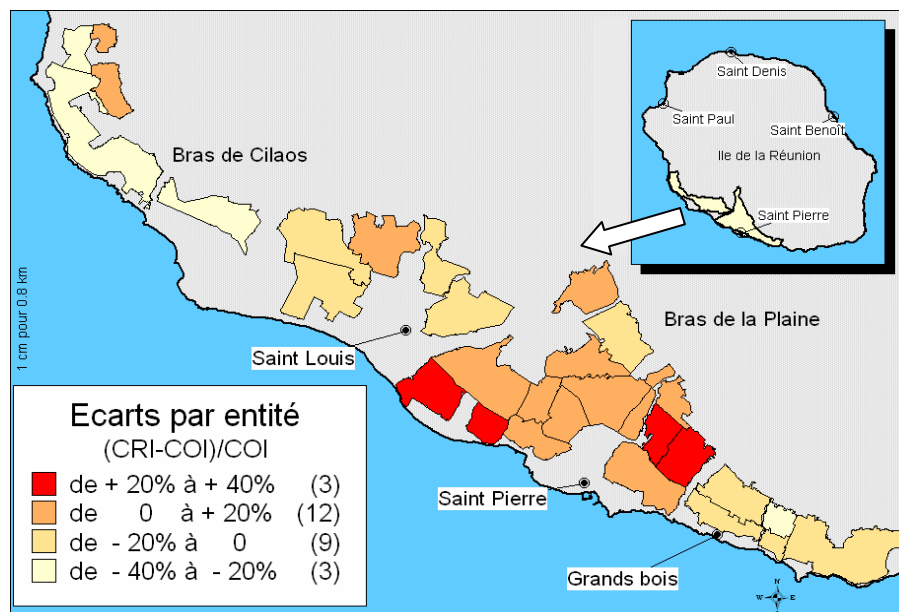


**Figure 2 : Cumuls des besoins en eau d'irrigation dans l'Ouest de la Réunion (Antenne1) dans la tranche d'altitude située entre 800 et 900 m. Volumes en m<sup>3</sup>/ha/an, en fonction du climat statistique et de la réserve en eau utile du sol (RU).**

Cas n° 2. Analyse des écarts entre des consommations en eau d'irrigation réelles et optimisées dans les périmètres actuels du sud de la Réunion entre 2000 et 2005.

Dans les périmètres irrigués actuels du sud de la Réunion, l'eau d'irrigation est de plus en plus concurrencée par une demande à usage domestique et industriel et doit être utilisée avec parcimonie. Les agriculteurs irriguent-ils avec des doses proches des besoins réels ou en excès ? Une étude a porté sur la comparaison des consommations en irrigation (i) réelles (CRI) et (ii) optimisées (COI) chez environ 500 agriculteurs des périmètres du sud de la Réunion, pendant 5 ans entre 2000 et 2005.

Les COI ont été calculées par FIVE-CoRe dans 27 micro-zones homogènes. Une majorité d'agriculteurs a des pratiques d'irrigation conduisant à des CRI proches des COI. Il existe en revanche 3 micro-zones sur 27 avec des CRI excédentaires de plus de 20% par rapport aux COI (Fig. 3). Le conseil en irrigation de la part des agents du développement devrait donc se concentrer sur ces zones.



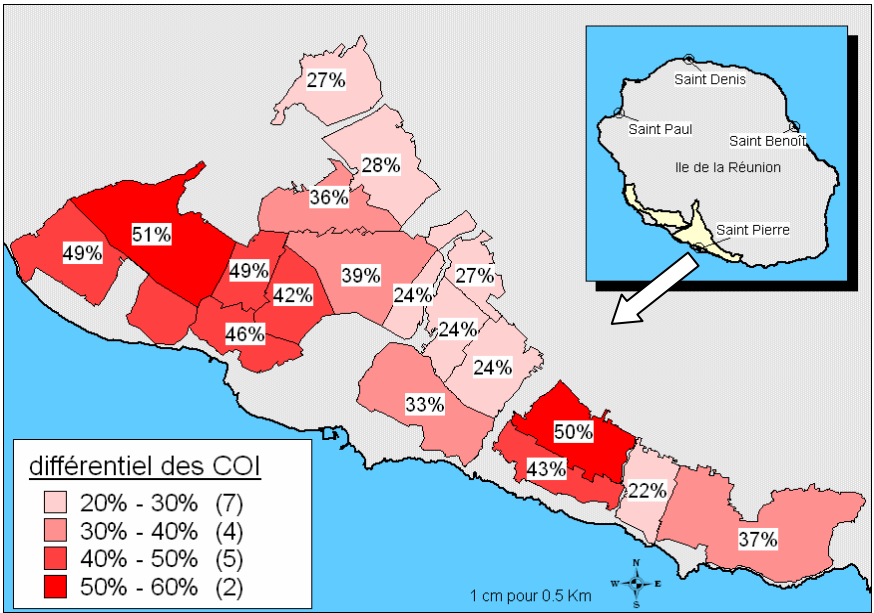
**Figure 3 : Analyse des consommations en eau d'irrigation entre 2000 et 2005, dans les périmètres irrigués du sud de la Réunion.** Ecart entre les consommations réelles (CRI) et les consommations optimisées en irrigation (COI) sur 27 entités (500 agriculteurs canniers).

### Cas n° 3. Effet des coupures d'eau d'irrigation

Un glissement de terrain a rendu inutilisable l'eau d'irrigation pendant plus de deux mois (eau trop turbide) au début de l'année 2007 dans un périmètre du sud de la Réunion (350 exploitations représentant 1700 ha irrigués). Les agriculteurs ont donc été contraints d'arrêter leurs irrigations avec, toutefois, une stratégie de rattrapage dès que l'eau a été de nouveau disponible. Quel est l'effet de cet aléa sur les volumes d'eau d'irrigation apportés, le stress hydrique de la culture, les risques de baisses de rendements ?

L'utilisation de l'outil FIVE-CoRe a permis de modéliser, dans 18 micro-zones homogènes, les dates et les doses des irrigations possibles, compte tenu des coupures déjà effectuées de janvier-février et prévisibles en mars. Cela a aussi permis de caractériser le niveau de stress hydrique subi par les cultures et de cartographier les zones les plus touchées.

Les déficits d'apport d'eau de janvier à mars vont de 20 à 60 % (Fig. 4). La réduction des apports n'est pas directement proportionnelle à la durée des coupures car les agriculteurs ont adopté une stratégie de rattrapage. FIVE-CoRe a permis d'en tenir compte. Ces résultats ont servi à l'estimation des pertes de rendement (Martiné et al., 2007) avec le modèle MOSICAS (Martiné, 2003).

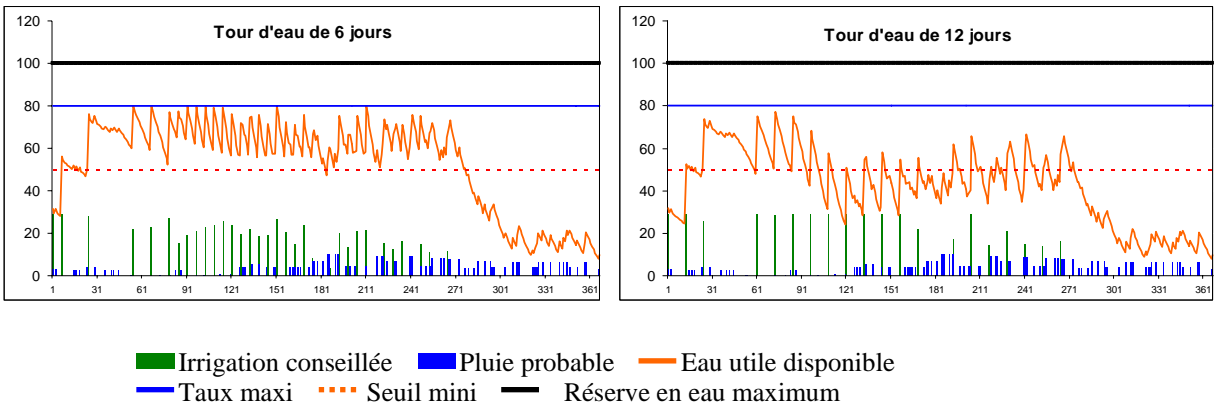


**Figure 4 : Effet des coupures d’eau d’irrigation pendant le 1<sup>er</sup> trimestre 2007 survenues dans le périmètre du Bras de la Plaine (Sud Réunion).** Déficients d’apport d’eau d’irrigation dans 18 micro-zones homogènes (350 exploitations, 1700 ha). Résultats exprimés en % par rapport aux consommations optimisées en eau d’irrigation sans coupure (COI). Valeurs moyennes pour trois dates de début de cycle (1 août, 1 octobre, 1 décembre 2006).

Utilisation d’OSIRI à la Réunion

Concernant la fonction d’aide à la stratégie d’irrigation, OSIRI offre la possibilité de visualiser, en début du cycle, le planning d’irrigation jusqu’à la fin du cycle en fonction de la stratégie choisie. Par exemple, dans le cas réel présenté en figure 5, une irrigation possible tous les 6 jours permet de maintenir un stock d’eau dans le sol correspondant aux choix de l’agriculteur.

En revanche, l’allongement du tour d’eau à 12 jours ne permet pas, dans les conditions pédo-climatiques de l’exemple, de maintenir le stock d’eau au niveau souhaité de plus de 50% de la réserve en eau utile (Fig. 5). Cette visualisation permet de tester facilement plusieurs stratégies et de retenir la plus adaptée aux conditions locales, aux contraintes et aux choix de l’agriculteur.



**Figure 5 : Visualisation du bilan hydrique et des irrigations prévisionnelles affichées par OSIRI.** Evolution du stock d’eau utile disponible pour un secteur d’irrigation en fonction de 2 stratégies d’irrigation. Avec une fréquence de 6 jours, le stock d’eau utile oscille entre les niveaux mini et maxi retenus, ce n’est pas le cas avec un tour d’eau de 12 jours.



Concernant le conseil des doses à apporter lors de chaque irrigation, OSIRI propose des fiches de conseil avec des doses par tour d'eau et par parcelle, pour l'ensemble du cycle, dans l'unité (m<sup>3</sup>, heure,mm) complétées par des modules d'adaptation aux pluies (Fig. 6 et 7).

Conseil en irrigation proposé par OSIRI pour la campagne 2008

Surface : 0.4 Ha  
Tour d'eau : 6 j en Aspersion

**Secteur : A**

**Pour : OSIRI-RUN**

Calcul Dose Réelle DR:		PA	PR	PA-PR	a	(PA-PR)*a	+DC =	DR	Si DR<0, calcul NJA	EV=+DR	b	Si EV>b	Si EV<b	NJA
					5				11JAI	100	50/6	(EV*0.2+30)/6		

Date Début du T.E :	24-oct	30-oct	05-nov	11-nov	17-nov	23-nov	29-nov	05-déc	11-déc	17-déc	23-déc	29-déc	04-janv	10-janv
Pluie attendue (mm/T.E) PA	3.0	2.0	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0	4.0	8.0	6.0	10.0	8.0	0.0	8.0
Dose (m <sup>3</sup> /T.E) DC	77	95	104	115	120	127	119	98	109	93	95	133	102	74
Dose réelle (m <sup>3</sup> /T.E) DR														
Dose max (m <sup>3</sup> /T.E)	89	95	108	118	123	131	139	137	137	142	138	133	141	137

**Figure 6 : Extrait d'un conseil édité par OSIRI, donnant, par secteur unitaire d'irrigation, les doses conseillées (DC) en m<sup>3</sup> par tour d'eau et les doses maximales. Au dessus, figure le module d'ajustement : calcul de la dose réelle (DR) en fonction de la pluie prévisionnelle (PA) et de la pluie réelle (PR).**



### MAIA : Module d'ajustement de l'irrigation par l'agriculteur

		janv	févr	mars	avr	mai	juin	jul	août	sept	oct	nov	déc
Pluies en mm	<b>0</b>	<b>Entre 0 et 3 mm : pas d'arrêt ; entre 3 et 6 mm : traité comme 6 mm</b>											
	<b>6</b>	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1
	<b>12</b>	2	2	2	3	3	4	3	3	3	3	2	2
	<b>18</b>	3	3	4	4	5	6	5	4	4	4	3	3
	<b>24</b>	4	4	5	5	7	8	7	6	5	5	4	4
	<b>+</b>	4	4	5	5	7	8	7	6	5	5	4	4

**Figure 7 : Exemple d'un module MAIA d'OSIRI pour l'ajustement, au niveau de l'exploitation, du nombre de jours d'arrêt de l'irrigation en fonction des pluies.**

Dans un dispositif expérimental chez un agriculteur, les doses conseillées par OSIRI ont été comparées à celles du conseil dit «à l'ETM» diffusé avant OSIRI. L'utilisation d'OSIRI permet une réduction des doses d'irrigation d'environ 20 % sans réduire le rendement, induisant une amélioration de la productivité de l'eau d'irrigation de 28% (Chopart et al., 2007d). OSIRI est maintenant le principal outil de conseil utilisé, de façon autonome par les conseillers en irrigation, remplaçant l'outil précédent (Chopart et al. 2007c).

## CONCLUSION

L'utilité et la complémentarité des deux outils FIVE-CoRe et OSIRI ont pu être illustrées des exemples virtuels et réels relatifs à la pratique de l'irrigation à la Réunion. OSIRI et FIVE-CoRe peuvent répondre à d'autres questions pratiques sur l'irrigation de la canne à sucre et d'autres cultures à différents niveaux de prise de décision.

Outre leur utilité dans l'ingénierie et la pratique d'irrigation, FIVE-CoRe et OSIRI contribuent aussi à (i) l'estimation des rendements en renseignant des modèles de croissance

de la plante en systèmes irrigués, (ii) à la gestion de l'eau en culture pluviale: dates de plantation, conditions d'alimentation hydrique. Ils fournissent également des résultats (date et doses d'irrigation, drainage) qui peuvent servir pour la modélisation des flux de solutés (nitrates en particulier) et pour des bilans environnementaux.

ECLAIR peut être utilisé pour des études faisant appel à la connaissance du climat local à partir d'une base de données météo. Le logiciel RACINE a été mis en oeuvre pour des études agronomiques et écophysologiques. Les quatre outils peuvent ainsi, ensemble, contribuer à une gestion durable de l'eau de pluie et d'irrigation tenant compte le mieux possible du climat local et des capacités de la culture à capter l'eau de pluie ou d'irrigation stockées dans le sol.

## **BIBLIOGRAPHIE**

Chopart J.L., Vauclin M. (1990). Water balance estimation model : Field test and sensitivity analysis. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 54, pp. 1377-1384.

Chopart J.L. (1996). Comparison of several methods of studying the maize deep root system under field conditions. In: International Society of Root Research. *Root demographics and their efficiencies in sustainable agriculture*, p.138.

Chopart J.L., Mézino, M., Le Mézo, L. (2003a). Relations entre l'altitude et la température mensuelle de l'air dans l'Ouest de la Réunion. *Revue Agricole et Sucrière de l'Ile Maurice*. 2002, vol 81, pp.68-72.

Chopart J.L., Mézino M., Nativel R. (2003b). Fluctuation saisonnière de l'évapotranspiration ( $ET_0$ ) en fonction de l'altitude dans l'Ouest et le Sud de l'île de la Réunion. Application à une modélisation empirique de l' $ET_0$ . Note Cirad Réunion, 16p.

Chopart J.L. (2004). RACINE : logiciel de traitement de données racinaires à partir de comptages sur profils de sol. Notice d'utilisation. Note Cirad Réunion, 16 p.

Chopart, J.-L., Mézino, M., Aure, F., Le Mézo, L., Mété, M., Vauclin M. (2007a). OSIRI: a simple decision-making tool for monitoring irrigation of small farms in heterogeneous environments. *Agric. Water Manage.* vol. 87, p 128-138

Chopart J.L., Mézino M., Le Mézo L., Fusillier J.L. (2007b). FIVE-CoRe: A simple model for farm irrigation volume estimates according to constraints and requirements. Application to sugar cane in Reunion (France). In: "Proceedings ISSCT vol. 26, XXXVI ISSCT Congress", Durban, South Africa, Abstracts book p. 98-99 and poster paper, pp. 490, 493.

Chopart J.L., Aure F., Le Mézo L., Mézino M., Antoir J., Vauclin M. (2007c). Field tests of OSIRI, a decision making tool for irrigation of sugarcane farms in Réunion. In: "Proceedings of fourth USCID Int. Conf. on Irrigation and Drainage: The role of Irrigation and Drainage in a Sustainable Future", USCID Edit. Sacramento, USA, 2-5 oct. 2007, pp. 423, 435.

Chopart J.L., Mézino M., Le Mézo L. (2007d). Présentation et exemples d'utilisation de FIVE-CoRe, un modèle d'estimation des consommations en eau d'irrigation en fonction des besoins et des contraintes. Note Cirad Réunion, 22 p.

Le Mézo L., Mézino M., Antoir J., Poutaredy O., Chopart J.L. (2005). OSIRI- Run (Outil Simplifié pour une Irrigation Raisonnée et Individualisée à la Réunion. Guide de l'utilisateur. Note CIRAD Réunion, 52 p.

Le Mézo L., Mézino M., Chopart J.L. (2007a). Guide de l'utilisateur de FIVE-CoRe. Estimation des volumes d'eau d'irrigation au niveau d'exploitations agricoles en fonction des contraintes et des besoins. Version 1.1, Note Cirad Réunion, 26 p.

Le Mézo L., Aure F., Mézino M., Antoir J., Chopart J.L. (2007b). Module optionnel, intégré dans l'outil OSIRI-Run: Aide à la décision de l'agriculteur pour la suspension de l'irrigation sur l'exploitation en fonction de la pluie, du sol et de ses choix techniques (MAIA: Module d'Ajustement de l'Irrigation par l'Agriculteur). Note Cirad Réunion et Chambre d'Agriculture, 8 p.

Martiné J.F., Le Mézo L., Mézino M., Chopart J.L. (2007). Impact des coupures d'eau de début 2007 dans le Bras de la Plaine sur le rendement de la canne à sucre. Note Cirad Réunion, février 2007, 7 p.

Martiné, J.F. (2003). Modélisation de la production potentielle de la canne à sucre en zone tropicale, sous conditions thermiques et hydriques contrastées. Applications du modèle. 2003. 130 p. Thèse Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris.