

Le pilotage de l'irrigation : de la parcelle au périmètre irrigué

Introduction

Lorsqu'une exploitation est correctement équipée en matériel d'irrigation, l'agriculteur doit décider quotidiennement quand, où, et combien irriguer. Il doit conduire ou piloter l'irrigation au mieux de ses intérêts et de ses objectifs de production. Il possède rarement l'ensemble des données nécessaires pour quantifier les apports d'eau. Il applique le plus souvent des doses excessives par sécurité, qui ont des conséquences environnementales et économiques. Le pilotage de l'irrigation vise à ajuster les apports d'eau au strict nécessaire, pour assurer les objectifs en réduisant les nuisances. L'aide au pilotage concerne les décisions quotidiennes que doit prendre l'agriculteur. Le pilotage fait appel aux connaissances sur les relations hydriques dans le continuum sol-plante-atmosphère. Il faut le différencier des choix stratégiques qui concernent une échelle de temps plus importante, la campagne d'irrigation.

Les méthodes de pilotage de l'irrigation

Trois grandes catégories de méthodes sont utilisées pour le pilotage de l'irrigation. Il s'agit de mesures directes au niveau de la plante (variations de diamètre, température de surface, flux de sève), ou au niveau du sol (humidité ou poten-

tiel), la troisième voie étant la simulation du bilan hydrique.

Les approches « plante » utilisent des mesures au niveau d'un organe. Ce sont les plus précises, car elles traduisent directement la réaction de la culture à l'alimentation hydrique. Elles font appel à des équipements complexes et onéreux nécessitant une forte technicité. Elles sont confrontées au problème de la grande variabilité entre organes au sein d'une même parcelle. La mesure de la température de surface permet une intégration spatiale, mais reste très technique. Ces techniques sont de ce fait peu développées en grande culture.

Les deux voies les plus courantes sont le pilotage à partir de mesures d'humidité du sol, et le pilotage par la simulation du bilan hydrique. Ces méthodes, et les logiciels qui les accompagnent, ont été mises au point pour une parcelle homogène. Leur objectif est le pilotage à la parcelle. Sont-elles applicables dans tous les cas ? Quelles sont les limites à la généralisation ?

Les contraintes de l'agriculteur aux différentes échelles spatiales

Pour l'exploitation et la prise de décision par l'agriculteur, la parcelle n'est pas l'élément déterminant. De

J.-C. COMBRES

Cirad, avenue Agropolis,
BP 398, Montpellier Cedex 5, France
jean-claude.combres@cirad.fr

L. LE MEZO

Cirad-ca, Station Ligne-Paradis,
7 chemin de l'Irat, Ligne-Paradis,
97410 Saint-Pierre, Réunion

nombreux facteurs entrent en compte. Sans être exhaustif, citons l'hétérogénéité spatiale, la gestion des équipements et du personnel, l'intégration de l'irrigation dans l'ensemble des préoccupations de l'agriculteur, ainsi que les stratégies agricoles de celui-ci, qui sont des éléments de décision déterminants. Au niveau du périmètre, qu'il soit collectif ou agro-industriel, la gestion globale de la ressource, son mode de distribution, son prix ou son coût, sont autant de facteurs qui conditionnent les pratiques agricoles et imposent des contraintes.

De la parcelle homogène à la parcelle hétérogène

Si l'on irrigue avec un pivot une parcelle dont le sol est homogène, et si ce pivot est équipé d'une pompe indépendante puisant dans une ressource illimitée, toutes les méthodes sont utilisables. On se retrouve dans le cas de figure de la parcelle expérimentale idéale. Les approches « sol » et « plante » seront très efficaces car elles fournissent une mesure directe. Un nombre restreint de capteurs (tensiomètres par exemple) fournira un pilotage optimum. C'est le pilotage à la demande, qui se traduit le plus souvent par une dose fixe et une fréquence variable. On obtiendrait un résultat comparable avec un bilan hydrique bien calé, en fixant un seuil d'humidité pour déclencher l'irrigation.

Irrigation d'une parcelle en plusieurs unités

Supposons que la même parcelle soit irriguée en aspersion en couverture totale en 12 jours et 3 positions par jour. Ce sont donc 12 — voire 36 — unités d'irrigation qui seront à des états hydriques différents. La parcelle homogène est devenue hétérogène sur le plan de son état hydrique. Si l'on utilise des capteurs d'humidité pour la piloter, leur nombre doit être considérablement accru. On pourrait choisir de ne suivre qu'une unité, les autres étant régulièrement décalées d'un multiple de l'Etm (éva-

potranspiration maximale) moyenne. C'est à peu près vrai lorsqu'il ne pleut pas. Mais lorsqu'une pluie survient, si elle est insuffisante pour saturer la réserve de toutes les unités d'irrigation, son efficacité est variable selon la date de la dernière irrigation de l'unité. Tout se passe comme si chacune recevait une pluviométrie différente. L'unité sur laquelle portent les mesures n'est plus représentative des autres. A l'inverse, lorsque toutes les unités ont leur réserve saturée, à quel moment reprendre l'irrigation ? Si la réserve utile est faible et que l'on attend le seuil de déclenchement tensiométrique de la première unité, il y a un risque important de faire subir un fort stress à la dernière. La contrainte d'équipement apparaît. Il faut donc établir un planning d'irrigation à dose variable pour irriguer la dernière au bon moment. Le bilan hydrique, associé à des règles de gestion est alors mieux adapté pour simuler les situations et prendre des décisions.

L'hétérogénéité spatiale du sol au sein de la parcelle a la même incidence et accroît encore les difficultés. Les mesures au niveau du sol deviennent plus délicates et leur représentativité peut s'avérer discutable.

De la parcelle à l'exploitation

Le pilotage à la demande peut se heurter à des limitations, voire des impossibilités. Il suppose en effet que l'on soit capable d'irriguer l'ensemble de l'exploitation en même temps. Dans l'exemple du pivot ci-dessus, supposons que l'on en ait un grand nombre identiques. Les possibilités de pompage dans la nappe par exemple, ou l'énergie disponible pour faire fonctionner toutes les pompes, ou les capacités de pompage peuvent restreindre les possibilités. Un planning d'irrigation devient nécessaire. Le pilotage à l'aide de tensiomètres s'avère alors plus difficile pour l'agriculteur, car il doit connaître, pour chaque valeur tensiométrique observée, quelle dose d'eau apporter.

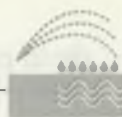
Les contraintes liées au matériel d'irrigation en couverture mobile

Le matériel d'irrigation impose ses contraintes d'utilisation. La plupart du temps, un planning d'utilisation est nécessaire. C'est le cas des couvertures mobiles, de l'aspersion en couverture totale et des canons enrouleurs, où le matériel se déplace sur différentes unités. Ces déplacements, la disponibilité en personnel et en matériel (tracteurs, remorques) qu'ils impliquent, font que la gestion de ce planning est la préoccupation essentielle de l'agriculteur. La précision des doses d'eau à apporter peut apparaître secondaire. Faut-il pour autant négliger le pilotage ?

Gestion de l'irrigation avec du matériel fixe

Lorsque le matériel est fixe, en goutte à goutte ou en aspersion en couverture intégrale, ces problèmes ne se posent plus. En goutte à goutte, l'irrigation quotidienne est nécessaire. Certains auteurs préconisent l'utilisation de tensiomètres pour caractériser l'extension du bulbe et estimer ainsi l'excédent, « sur-irrigation » ou le déficit « sous-irrigation ». C'est très intéressant pour les cultures hétérogènes pour lesquelles le régime d'évapotranspiration est mal connu. En culture dense comme la canne à sucre, il est aussi simple d'apporter quotidiennement l'équivalent de l'Etm, à condition de commencer sur un sol suffisamment humidifié. Mais un strict pilotage « à l'Etm » conduit aussi à des surconsommations, car il ne valorise pas les pluies. Un pilotage par bilan hydrique en ajustant correctement les seuils est plus économe.

En aspersion en couverture intégrale, si l'irrigation quotidienne est techniquement possible, elle est généralement peu souhaitable. L'évaporation du sol nu est alors considérablement accrue. L'eau, interceptée par le feuillage, ne parvient pas au sol et est évaporée à un régime d'évaporation potentielle plus élevé que l'évapotranspiration potentielle. Cette pratique conduit à une consommation



hydrique beaucoup plus importante que les besoins de la plante. Elle ne permet pas par ailleurs de valoriser l'effet tampon de la réserve du sol. Un planning d'arrosage s'avère nécessaire également dans ce cas.

De l'exploitation au périmètre

Au niveau d'un périmètre irrigué, qu'il s'agisse d'un périmètre collectif ou d'un grand périmètre agro-industriel, apparaissent des contraintes hydrauliques et des facteurs supplémentaires d'hétérogénéité spatiale.

Les contraintes du système hydraulique

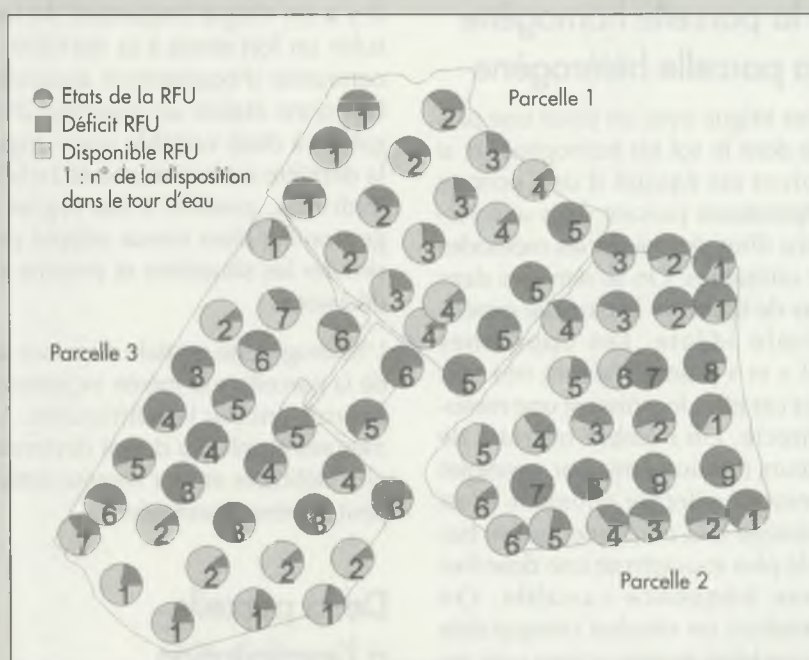
Les caractéristiques hydrauliques du réseau d'adduction d'eau sont fixées. Selon la conception initiale, le débit et la pression peuvent limiter en certains points la gamme de systèmes d'irrigation utilisables. Or cette conception initiale n'intègre généralement pas l'utilisation agronomique de l'eau. La ressource est rarement illimitée. Son mode de distribution impose la tactique d'irrigation. Dans le cas d'un captage au fil de l'eau, la ressource globale est limitée par le débit de la rivière. Les réseaux sont calés sur un débit d'étiage, et des coupures d'eau seront nécessaires s'il descend en dessous. Si la distribution est uniforme, avec un débit par hectare fixe et continu, l'agriculteur est contraint d'organiser un planning d'irrigation pour mobiliser en permanence cette ressource, parfois insuffisante. A l'inverse, s'il s'agit d'un réseau à pilotage par l'aval, le débit disponible n'est pas limité. Le pilotage à la demande est envisageable si la ressource est toujours disponible.

l'hétérogénéité liée aux microclimats

Les facteurs supplémentaires d'hétérogénéité spatiale sont liés aux microclimats. Sous un climat tropical, la pluviométrie quotidienne présente une très forte variabilité spatiale du fait de la localisation des

Exemple d'hétérogénéité hydrique sur un sol homogène à la Réunion

L'exploitation possède trois parcelles. Elle est équipée d'un système en couverture totale « améliorée ». Trois vannes volumétriques séquentielles pilotent les trois parcelles. Trois positions sont irriguées en 24 heures, une sur chaque parcelle. Les numéros montrent les asperseurs qui fonctionnent simultanément sur une même vanne. Les asperseurs sont déplacés selon l'ordre croissant des numéros de chaque parcelle. La fréquence d'irrigation est différente sur chaque parcelle. Sur chaque unité (position d'asperseur), le déficit et le contenu de la réserve facilement utilisable sont visualisés. Il s'agit d'un cas relativement simple, car toutes les parcelles et unités ont la même réserve utile (le même sol). On note néanmoins l'importance de l'hétérogénéité hydrique liée au planning d'irrigation.



Visualisation de l'humidité du sol sur les trois parcelles.

pluies. Ce paramètre essentiel peut, et devrait être, mesuré par l'agriculteur sur l'exploitation, mais cette échelle peut être insuffisante au champ. La demande climatique (mesurée par l'évapotranspiration potentielle, Etp) et la température qui influence la vitesse de croissance et les coefficients culturaux sont d'autres facteurs de variabilité. Dans le cas particulier de la Réunion, connue pour sa forte variabilité microclimatique, ces deux facteurs ne peuvent être négligés. Mais l'agriculteur n'a pas accès à ces données et ne pourrait pas les intégrer.

Incidence des échelles d'espace

Les différentes méthodes de pilotage ont des domaines d'application qui leur sont propres. Elles sont toutes envisageables à l'échelle de la parcelle homogène. Mais l'hétérogénéité s'accroît lorsque l'échelle augmente, et les problèmes deviennent plus complexes.

L'irrigation à la demande est exceptionnelle en grande culture. Le planning d'irrigation s'impose comme une contrainte dominante. A grande échelle, les méthodes fondées sur

des mesures au niveau de la plante ou du sol sont inadaptées à des prises de décision quotidiennes. Le bilan hydrique informatisé peut convenir dans la plupart des cas, à l'exception des situations où la nappe phréatique est proche de la surface. Seul, il serait également insuffisant. Il convient de lui adjoindre l'ensemble des règles permettant de traiter les différents niveaux d'hétérogénéité et de prendre en compte les pratiques de l'agriculteur.

Recommandations pour l'usage du bilan hydrique

Si le bilan hydrique est unanimement reconnu comme méthode de référence, il n'est pourtant pas exempt de critiques, inhérentes à tout modèle de prévision. Les paramètres d'entrée doivent être connus avec une bonne précision.

- L'échelle à laquelle est évaluée la réserve utile est déterminante (LEENHART, 1991). On possède rarement la carte au 1/2 500 qui serait nécessaire au niveau de l'exploitation.

- Les coefficients culturaux doivent être précis. Les données empiriques de la bibliographie sont très variables suivant la région de leur détermination et la référence d'Etp utilisée. Il est préférable d'utiliser un modèle plante qui permette d'intégrer la variabilité climatique et hydrique.

- L'Etp qui était déterminée par le passé avec une incertitude de 30 % est dorénavant calculable à 4 % près (ALLEN *et al.*, 1994). Au niveau de l'exploitation, la consommation d'eau conseillée par le bilan hydrique est proportionnelle à l'Etp. Il convient donc d'être précis.

- Enfin, la pluviométrie, l'irrigation et l'efficacité des équipements d'irrigation doivent être bien connus.

Tous ces points peuvent être maîtrisés. S'ils ne l'étaient pas, le bilan hydrique fournirait des résultats erronés.

Le bilan hydrique fait par ailleurs appel à des données (météo) et des méthodes (informatiques) qui ne sont pas celles de l'agriculteur. Il nécessite donc un intermédiaire, physique ou télématique, qui intègre cette étape pour conseiller l'agriculteur. Cet intermédiaire et la façon dont il maîtrise les points ci-dessus, les relations de confiance en l'innovation qu'il crée avec l'agriculteur, et la façon dont est fourni le conseil pour que l'agriculteur se l'approprie, sont déterminants. Mais ceci est valable pour tous les modes de pilotage.

L'agriculteur, ses pratiques et ses décisions

L'agriculteur gère une exploitation qui peut aller de quelques hectares dans le cas d'un petit planteur, à plusieurs milliers d'hectares pour les gestionnaires de grands périmètres agro-industriels. A ce niveau également, la taille de l'exploitation conditionne la hiérarchie des préoccupations des exploitants. L'exploitation ne peut être réduite à un ensemble de parcelles, et les décisions ne se prennent pas à leur niveau.

Au niveau de l'exploitation, l'agriculteur, ses décisions et ses choix stratégiques jouent un rôle déterminant qui conditionne le type de pilotage de l'irrigation. Les typologies d'exploitations à la Réunion (DUCLAY, 1995) ont montré qu'il y avait un lien étroit entre la stratégie de l'agriculteur, son choix en équipements d'irrigation, et ses demandes en conseil. Les exploitants intéressés par le pilotage de l'irrigation, y compris les mieux formés, demandent des conseils simples et directement applicables. Ils seront alors facilement intégrables dans l'ensemble des décisions, et dans les charges de travail quotidiennes.

Mais le pilotage est une affaire qui peut être très complexe. Il doit intégrer, du point de vue technique, deux groupes de facteurs : la gestion des équipements et les besoins en

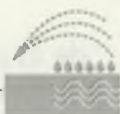
eau de la plante. Le premier a un rôle déterminant sur l'organisation du travail et la mobilisation de la ressource. Il a un aspect concret et il est incontournable. Plus la taille de l'exploitation augmente, plus cet aspect de planification est prépondérant. Si différents systèmes d'irrigation sont utilisés sur de grandes exploitations, la gestion du planning devient la contrainte majeure.

Le second est plus abstrait et fait appel à des notions non matérialisables (réserve utile, Etp, coefficients culturaux) ou à des mesures qui s'avèrent lourdes en milieu hétérogène. De ce fait, faute de solution simple, la dose à apporter apparaît souvent comme une préoccupation secondaire par rapport à la gestion des équipements, surtout si la ressource et son coût ne sont pas les contraintes majeures. L'agriculteur utilise alors ses propres critères visuels de décision.

Il est donc essentiel que le système de conseil gère ces deux aspects de façon transparente et fiable. Il doit également permettre de matérialiser les relations eau-sol-plante du bilan hydrique pour établir le lien entre les observations de terrain et les calculs du logiciel.

Le conseil associé au pilotage doit être personnalisé car deux exploitations contiguës, même si elles sont identiques du point de vue pédoclimatique, diffèrent par leurs équipements et par les agriculteurs qui les gèrent. Le conseil pour un groupe d'agriculteurs ou pour un terroir est, de ce fait, peu probant et a peu de chances de résoudre les problèmes individuels de l'irrigant.

L'agriculteur doit par ailleurs être motivé et convaincu de l'intérêt du pilotage, et du profit qu'il en retire. Ses critères de comparaison portent sur le coût total de l'irrigation, les rendements obtenus et la pénibilité du pilotage. Compte tenu de la variabilité interannuelle des besoins en eau et des rendements, la perception intuitive de l'apport du pilotage n'est pas toujours évidente sur le court terme. Il est donc essentiel de pouvoir, *a posteriori*, comparer ses



pratiques à l'optimum pour entretenir avec lui un dialogue, source de confiance en l'innovation.

Conclusion

L'aide à la décision pour le pilotage quotidien de l'irrigation doit gérer les différentes causes de variabilité intra- et interparcellaire, et tenir compte des pratiques des agriculteurs, souvent confrontés à la difficulté de gérer le planning d'irrigation.

Bibliographie

ALLEN R.G., SMITH M., PERRIER A., PEREIRA L.S., 1994. An update for the definition and the calculation of reference evaporation. *ICID Bulletin*, 43 (2) : 1-92.

COMBRES J.-C., KAMIENIARZ C., 1992. Un logiciel multiparcelles et multiutilisateurs d'avertissement d'irrigation et de gestion des périmètres irrigués. *ICID Bulletin* 41 (2) : 135-152.

COMBRES J.-C., KAMIENIARZ C., MARAUX F., 1996. Pilotage de l'irrigation de la canne à sucre sous contraintes de réseau

Les travaux conduits par le Cirad à la Réunion, en collaboration avec la Chambre d'agriculture et La Société d'aménagement des périmètres hydro-agricoles de l'île de la Réunion, ont cet objectif. Ils cherchent à résoudre les problèmes suivants :

- intégrer la variabilité spatiale et temporelle sur les plans édaphique, biologique, climatique et hydrique (irrigation) (COMBRES et KAMIENIARZ, 1992) ;
- établir les pratiques réelles des agriculteurs, pour en conceptualiser les règles générales ;
- prendre en compte les contraintes

avec IRRICANNE. *In Crop-water-environment models*, RAGAB R., EL-QUOSY D.E., VAN DEN BROEK B., PEREIRA L.S. éditeurs, Egypt Nat Com ICID, Cairo : 255-266.

COMBRES J.-C., NETO P., KAMIENIARZ C., 1997. Bilan hydrique, stratégies d'irrigation et planning d'arrosage pour conseiller les exploitations avec Irricanne. *Actes des rencontres Afcas-Artas*, p. 369-382.

COMBRES J.-C., 1999. Pilotage de l'irrigation avec IRRICANNE+. *Agriculture et Développement* 24 : 106-113.

DUCLAY E., 1995. Méthodologie d'enquête et de suivi rapproché des irrigants. *Mémoire*, Ensam, Montpellier, France. 45 p.

du réseau (débit, pression), les caractéristiques des équipements et le planning d'utilisation du matériel pour fournir un conseil personnalisé. Il prend la forme d'un calendrier d'irrigation à court terme qui rend compatible le pilotage et la gestion des chantiers ;

- restituer aux agriculteurs une analyse comparative de leurs réalisations.

Les résultats de ces travaux ont conduit à la mise au point du logiciel IRRICANNE+ (COMBRES *et al.*, 1996, 1997 ; COMBRES, 1999) utilisé en routine depuis 1997.

LEENHART D., 1991. Spatialiséation du bilan hydrique. Propagation des erreurs d'estimation des caractéristiques du sol à travers des modèles de bilan hydrique. Thèse de doctorat, Montpellier, France, 125 p.

PEYREMORTE P., 1986. Simplification de l'estimation approximative des besoins d'arrosage : le « bilaneumètre ». *Eau et Aménagement de la région provençale* n° 43.

PUECH J., ISBERIE C., PEYREMORTE P., 1992. Le pilotage de l'irrigation. *In Guide pratique de l'irrigation*. Cemagref-Dicova, Cep-groupe France agricole, 2^e édition, France, p. 11-67.



Bac classe A (Bras de la plaine, Réunion).
(© Cirad)

Résumé...Abstract...Resumen**J.-C. COMBRES, L. LE MEZO — Le pilotage de l'irrigation : de la parcelle au périmètre irrigué.**

Le pilotage de l'irrigation concerne successivement la parcelle, l'exploitation et le périmètre. Pour la parcelle, se posent surtout des problèmes d'homogénéité des sols ou des apports d'eau, notamment dans le cas d'aspersion totale. Pour l'exploitation, c'est la notion de planning qui résume bien comment l'agriculteur gère une ressource en eau limitée ou le déplacement du matériel d'irrigation. Pour le périmètre, des contraintes peuvent résulter du réseau d'adduction. La forte variabilité spatio-temporelle des pluies contribue aussi à la complexité de l'ensemble. Le pilotage à la demande, bien adapté à la parcelle, cède la place, en changeant d'échelle, à une priorité au planning d'irrigation. La simulation du bilan hydrique, associée à un planning et à des règles de gestion, permet de prendre en compte ces multiples aspects. Une cartographie de la réserve utile en eau des sols, une évaluation précise de l'évapotranspiration de référence, et une bonne appréciation spatiale des pluies et des arrosages conditionnent la validité des prévisions. L'agriculteur doit pouvoir disposer d'un outil qui intègre ces données pour l'aider dans la gestion des équipements.

Mots-clés : irrigation, planification, pilotage, bilan hydrique.

J.-C. COMBRES, L. LE MEZO — Irrigation control: from plot to irrigation scheme.

Irrigation control concerns the plot, the farm and the irrigation scheme in succession. The main problems at plot level are homogeneity of the soils or water applications, particularly in the case of total sprinkling. At farm level, it is the planning concept that takes over, allowing farmers to manage limited water supplies or move their irrigation equipment efficiently. As regards irrigation schemes, problems can arise because of the canalization system. The high spatio-temporal variability of rainfall also contributes to the complexity of operations. Watering on demand, which is suitable in plots, is less important than planning when working on a larger scale. Simulating the water balance, combined with planning and management rules, takes account of these various aspects. Mapping the available soil water reserve, precise evaluation of standard evapotranspiration and an accurate spatial appreciation of rainfall and watering are essential for valid planning. Farmers need a tool integrating these data if they are to manage their equipment efficiently.

Keywords: irrigation, planning, control, water balance

J.-C. COMBRES, L. LE MEZO — El control del riego: de la parcela al área regada.

El control del riego afecta sucesivamente la parcela, la explotación y el área. En la parcela, los problemas conciernen principalmente la homogeneidad de los suelos o los aportes de agua, sobre todo en el caso de aspersion total. En la explotación, es la noción de planificación la que resume bien cómo el agricultor gestiona un recurso hídrico limitado o el desplazamiento del material de riego. En el área, las restricciones pueden venir de la red de abastecimiento de agua. La importante variabilidad espaciotemporal de las lluvias contribuye también a la complejidad del conjunto. El control a la demanda, bien adaptado a la parcela, deja sitio, cambiando de escala, a una prioridad del programa de riego. La simulación del balance hídrico, asociada a un programa y a reglas de gestión, permite tener en cuenta todos esos aspectos múltiples. Una cartografía de la reserva útil de agua de los suelos, la evaluación precisa de la evapotranspiración de referencia y una buena apreciación espacial de lluvias y riegos condicionan la validez de las previsiones. El agricultor debe poder contar con un instrumento que integre dichos datos para ayudarlo en la gestión de los equipos.

Palabras clave: riego, planificación, control, balance hídrico.

Station de pompage provisoire pour pivot (Sonasut). (© Cirad)

