

Distribution de l'eau : approche par le suivi intégral des arrosages à Urcuqui

Luc Gilot, Roger Calvez*

Introduction

L'engouement des bailleurs de fonds et des états pour l'irrigation a provoqué une forte augmentation des superficies irriguées à partir des années 50, aussi bien en Afrique qu'en Amérique Latine (IIMI 1990 ; GRET 1991). Cependant, les difficultés rencontrées dans de nombreux périmètres ont induit une forte diminution de la création de nouvelles structures depuis les années 80. La plupart des investissements actuels sont dirigés vers des objectifs de réhabilitation dont la nécessité se fait sentir autant dans les grands périmètres modernes que dans les zones traditionnellement irriguées depuis des périodes plus lointaines (IIMI 1990 et 1991, GRET 1991).

La conception d'actions de réhabilitation exige un diagnostic complet de la situation actuelle, rendu difficile par la grande complexité des systèmes irrigués où les problèmes techniques et sociaux liés à l'irrigation contribuent à rendre les systèmes agraires plus compliqués encore.

Pour l'exploitant placé dans le cadre d'une agriculture libérale, le choix d'une spéculation (parmi celles qu'autorise le contexte pédoclimatique) est un pari entre la sécurité de l'alimentation hydrique et l'intérêt économique. Il en est de même des décisions d'irrigation : lorsque l'arrosage coûte cher, l'agriculteur peut prendre la décision de se désister d'une ou de plusieurs irrigations.

L'étude¹ des cultures pratiquées et de la satisfaction de leurs besoins en eau dans le cadre de la distribution réelle de l'eau

* ORSTOM

¹ Cet article est une présentation sommaire du travail développé dans le cadre de la thèse de Luc Gilot (1994).

ORSTOM Documentation



010000224

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 42747

Cote : B

NOV 1995

paraît donc être une approche cohérente du fonctionnement d'un périmètre irrigué. L'échelle de travail choisie est la maille hydraulique d'un périmètre moderne (100 à 200 hectares), qui correspond aussi aux dimensions des périmètres irrigués traditionnels.

Méthode d'analyse

La simulation classique du bilan hydrique et ses limites

Le suivi des irrigations réelles sur toute une saison d'irrigation permet de déterminer les différences entre la théorie et la pratique de la distribution entre les parcelles, et donc de qualifier les dysfonctionnements. Cependant, la quantification des conséquences de ces dysfonctionnements ne peut se faire que par le biais de la simulation du bilan hydrique (Jerisen et al. 1971, Doorenbos et Pruitt 1975, Forest 1984). Cette approche classique permet de retracer l'évolution de la réserve en eau du sol (RU), quand on connaît les entrées (pluie, irrigation) et les sorties (évapotranspiration, drainage,...). La méthode a été informatisée depuis longtemps et de nombreux logiciels permettent de réaliser des simulations rapides et opérationnelles qu'il s'agisse de travailler à l'échelle de la parcelle ou à celle du périmètre pris dans son ensemble.

Cependant ces programmes sont insuffisants pour rendre compte du fonctionnement d'un mode de distribution à l'intérieur d'un périmètre irrigué. En effet, le manque d'eau dans le sol peut avoir des raisons diverses (intervalles trop longs entre deux arrosages, dose apportée trop faible, etc.), qui doivent être analysées aussi, de la même façon qu'on doit analyser les raisons des excès d'eau à l'arrosage. A l'intérieur d'un tour d'eau, chaque parcelle peut bien sûr être irriguée à la date prévue avec l'horaire prévu et la main d'eau prévue. Elle peut aussi être irriguée plus tôt ou plus tard, avec un débit plus fort ou plus faible, ne pas être irriguée du tout, ou l'être plusieurs fois, etc. De plus, des interruptions de fonctionnement du réseau peuvent allonger les temps d'attente entre deux irrigations.

Principe de la méthode choisie

Tenant compte de ces remarques, un modèle basé sur la simulation du bilan hydrique a été élaboré pour l'évaluation du fonctionnement quotidien de la distribution de l'eau. Les déficits hydriques², les excès d'eau³ à l'arrosage et leurs causes

dans le cadre de la
distribution, les
déficits
hydriques peuvent
s'expliquer

² On exprime la satisfaction des besoins en eau des plantes par le rapport de l'évapotranspiration réelle à l'évapotranspiration maximale : ETR/ETM. Sa partie complémentaire (1 - ETR/ETM) est une estimation du déficit hydrique.

³ Les valeurs calculées par la simulation correspondent à la part de la dose qui ne peut pas être stockée dans la zone d'influence racinaire et seront source de percolations et drainage, l'eau concernée étant le plus souvent perdue pour l'usage dans le périmètre.

sont calculés pour chaque parcelle à un pas de temps journalier. Le transfert d'échelle de la parcelle au périmètre dans son ensemble autorise à la fois l'analyse du résultat global et des différences de comportements entre parcelles, pour les spéculations les plus importantes.

Les données d'entrée sont les paramètres climatiques, édaphiques et culturaux, et un cadastre incluant pour chaque parcelle les cultures en place et la liste des irrigations. Des valeurs fictives peuvent être substituées aux valeurs réelles pour simuler les conséquences d'actions de réhabilitation.

Pour expliquer les déficits hydriques et les pertes d'eau selon leurs origines dans le cadre du tour d'eau, on effectue diverses simulations chaque jour pour chaque parcelle. La première, qu'on nomme simulation normale, considère tous les événements recensés. Les autres, nommées simulations conditionnelles, considèrent des événements fictifs (par exemple une dose d'arrosage suffisante pour remplir la réserve utile du sol alors que la dose réelle est trop faible, ou une irrigation alors que la parcelle n'a pas été arrosée pendant le tour d'eau considéré).

Les différences entre les résultats des simulations normale et conditionnelles nous donneront donc les raisons des déficits hydriques (voir figure 1), et de la même façon, les raisons des pertes d'eau.

recherche de
paramètres

simulations normales
et conditionnelles

22

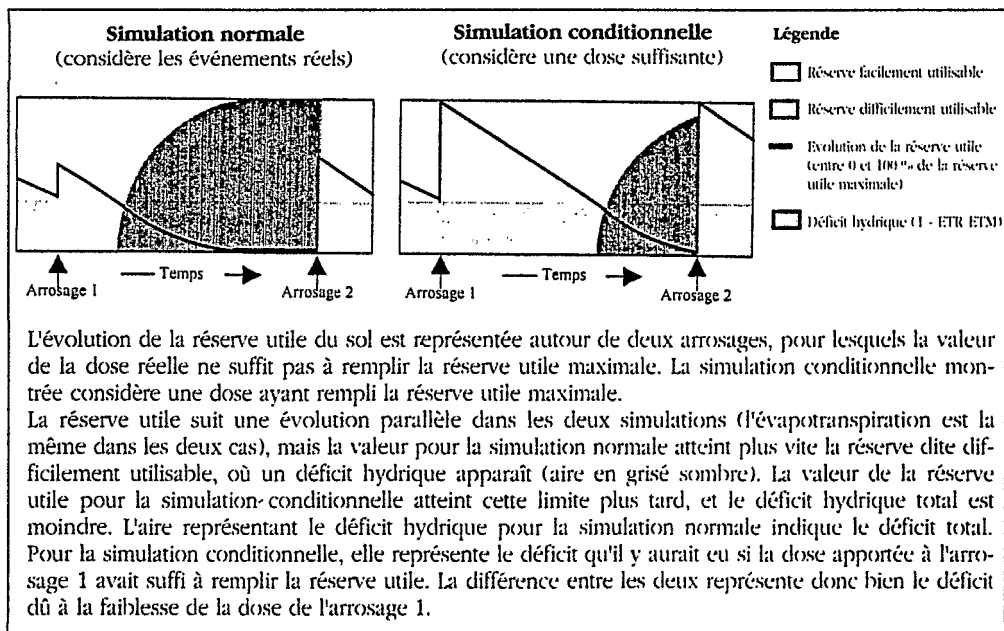


Figure 1 - Exemple de fonctionnement des simulations conditionnelles.

Une partie des différences seront interprétées comme des pertes (la plante souffre plus avec les événements réels, comme c'est le cas pour les deux exemples précédents), alors que les autres seront interprétés comme des gains (la plante souffre moins avec les événements réels, par exemple si deux arrosages se sont produits dans un tour alors que la parcelle n'a droit qu'à un seul). Le déficit hydrique (et les pertes d'eau) de chaque parcelle pour chaque jour (pour chaque irrigation) pourra donc être expliqué en totalité comme la somme des déficits (pertes d'eau) expliqués par chaque raison.

L'évolution de la réserve utile du sol est représentée autour de deux arrosages, pour lesquels la valeur de la dose réelle ne suffit pas à remplir la réserve utile maximale. La simulation conditionnelle montrée considère une dose ayant rempli la réserve utile maximale.

La réserve utile suit une évolution parallèle dans les deux simulations (l'évapotranspiration est la même dans les deux cas), mais la valeur pour la simulation normale atteint plus vite la réserve dite difficilement utilisable, où un déficit hydrique apparaît (aire en grisé sombre). La valeur de la réserve utile pour la simulation conditionnelle atteint cette limite plus tard, et le déficit hydrique total est moindre. L'aire représentant le déficit hydrique pour la simulation normale indique le déficit total. Pour la simulation conditionnelle, elle représente le déficit qu'il y aurait eu si la dose apportée à l'arrosage 1 avait suffi à remplir la réserve utile. La différence entre les deux représente donc bien le déficit dû à la faiblesse de la dose de l'arrosage 1.

évolution des réserves

Utilisation de la méthode

La méthode a été élaborée dans le cas d'un petit périmètre géré par les usagers, traditionnellement irrigué depuis 1582, autour du village d'Urcuqui (voir carte et article de T. Ruf). Malgré sa petite taille (170 hectares), on y a observé une situation très complexe.

Les 300 parcelles sont cultivées principalement de maïs, haricot, luzerne et prairie naturelle. Depuis 1945 l'eau est distribuée selon le mode du tour d'eau souple. Un réservoir situé à l'amont permet le stockage de l'eau la nuit et des arrosages exclusivement diurnes.

Approche globale

Le débit concédé est de 100 l/s pendant 79 % du temps (le service normal s'interrompt 21 % du temps pour le service d'autres usagers, un week-end sur deux). Cet apport global correspond à 4,3 millimètres par jour, quand la plus forte demande de la culture la plus exigeante est de 3,5 mm/jour.

une indépendance
hydrique et pourtant
un manque d'eau

Cette première analyse nous montre un apport global largement suffisant, qui devrait permettre de rendre l'agriculture indépendante des pluies. Cependant, des mauvais résultats ont été observés et les usagers se plaignent du manque d'eau d'irrigation.

Distribution théorique de l'eau

A Urcuqui, l'eau se répartit selon le mode du tour d'eau souple. Dans ce mode de distribution, très répandu dans les pays en voie de développement, les droits d'eau des parcelles et leurs numéros d'ordre d'irrigation sont fixés. Les parcelles sont irriguées dans l'ordre de la première à la dernière au cours d'un «tour d'eau». Dans les systèmes les plus rigides, la date et l'heure d'irrigation de chaque parcelle sont aussi déterminés à l'avance, ce qui n'est pas le cas des tours d'eau souples (Jean et Vacca 1987).

la distribution est
souple, mais très
organisée

Le périmètre est divisé en 5 secteurs, ce qui autorise 5 tours d'eau différents : dans chaque secteur, une parcelle est arrosée à la fois avec une main d'eau d'1/5 du débit total (35 l/s). L'ensemble des droits des parcelles pour les 5 blocs est de 1039 heures. La période de rotation théorique est donc de 25 jours, quand on considère qu'une journée d'irrigation dure 10 heures et que le tour d'eau ne fonctionne que 79 % du temps. Les secteurs sont cependant de taille variable et la durée théorique de leurs tours respectifs varie dans la même mesure entre 16 et 30 jours.

La moyenne des dotations des parcelles est de 6 heures par hectare, ce qui correspond à une dose unitaire de 102 mm, très supérieure à la capacité de stockage de la tranche de sol utilisable par les racines des cultures annuelles (RUM=50 mm). Les différences entre parcelles sont cependant fortes (de 2 à 35 heures par hectare). Les dotations ont en moyenne fortement augmenté depuis 1945 (Ruf et Nuñez 1991). Aujourd'hui, la dotation est fortement liée à la superficie de la parcelle (figure 2).

Les dotations des parcelles sont en moyenne trop fortes (on peut s'attendre à d'importantes pertes d'eau), et imposent des

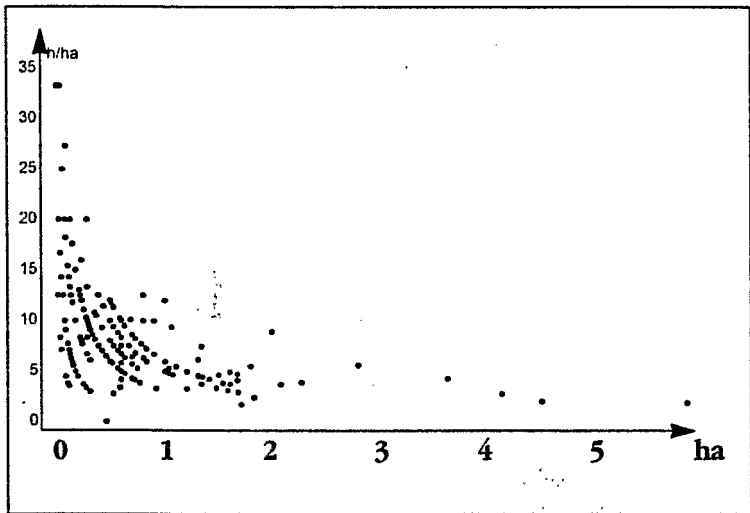


Figure 2 - Relation entre la dotation et la superficie des parcelles. Chaque point représente une parcelle.

périodes de rotations trop longues puisque 14 jours suffisent pour épuiser la réserve utile maximale avec une évapotranspiration de 3,5 mm/jour. La pluie sera donc nécessaire pour satisfaire les besoins des plantes.

Distribution réelle de l'eau

Un suivi des irrigations a été effectué du 20/06/90 au 12/06/91. Pluie et débits délivrés ont été mesurés de façon continue pour la même période.

L'analyse directe de ces données permet les conclusions suivantes :

* Sous le contrôle de l'aygadier des échanges d'eau entre secteurs contribuent à modérer les différences de longueur entre les tours d'eau des différents secteurs (mais des différences subsistent : de 23 à 29 jours).

* L'ordre réel des irrigations des parcelles et les durées d'arrosage sont très peu différents de leurs valeurs théoriques.

• D'importantes interruptions de fonctionnement de la distribution se produisent (en plus des interruptions pour le service des autres usagers). Elles sont liées à des détériorations du canal principal, ou à une protection active de ce dernier, quand de grosses pluies sont attendues. 13 % de la période d'étude est concernée, les interruptions durent de 2 à 14 jours.

* Bien que les interruptions de fonctionnement contribuent à allonger les temps d'attente entre deux arrosages, ceux-ci sont plus faibles que leurs valeurs théoriques (ils restent cependant

les règles sont bien respectées

les usagers adoptent des stratégies extensives

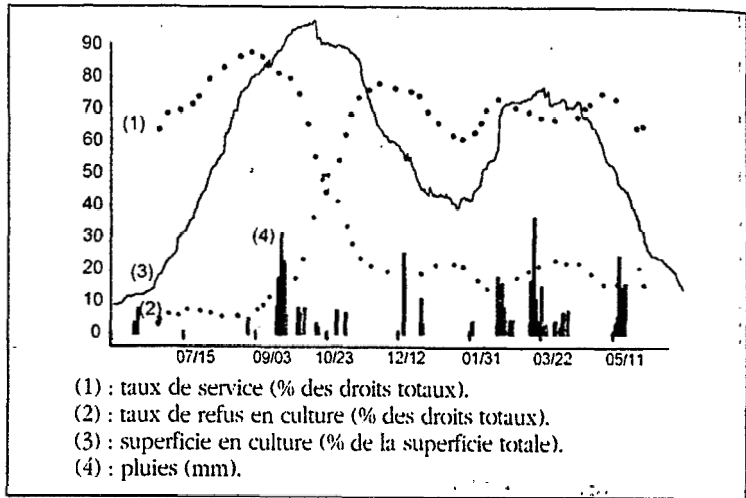


Figure 3 - Evolution de quelques paramètres durant la période d'étude.

Durée théorique des tours	25 jours
Durée réelle des tours	20,2 jours
Interruptions observées	6,9 jours
Nombre de jours de service	13,3 jours
Taux de service	71,8%
Taux de désistements quand une culture est en place	19%
Taux de double irrigation	4,3%

Tableau 1 - Fonctionnement actuel d'un tour d'eau «moyen». Moyennes des 5 secteurs pour la période d'étude complète.

élevés : plus de 20 jours en moyenne). Le faible taux de service explique cette remarque (figure 3 et tableau 1). Dans un tour d'eau «moyen», 30 % des droits d'eau ne sont pas servis. Ces désistements ne concernent pas que les parcelles non cultivées. Ils sont plus abondants lors des périodes pluvieuses. (figure 3). Les petites parcelles sont les plus touchées.

* Une moyenne de 4,3 % des droits d'eau sont servis plus d'une fois dans un tour d'eau. Ils concernent les parcelles de taille supérieure à la moyenne et se produisent principalement dans les périodes de faible demande, quand la plupart des usagers se désistent.

Résultats de la simulation du bilan hydrique

Les résultats des simulations du bilan hydrique vont nous permettre de comprendre les conséquences de cette alimentation en eau des champs.

Déficits hydriques des cultures

les déficits hydriques
sont forts

Les déficits hydriques ont été résumés par culture. Les résultats obtenus pour le maïs (figure 4 et tableau 2) et la luzerne (tableau 2) illustrent bien respectivement les comportements des cultures annuelles et pérennes.

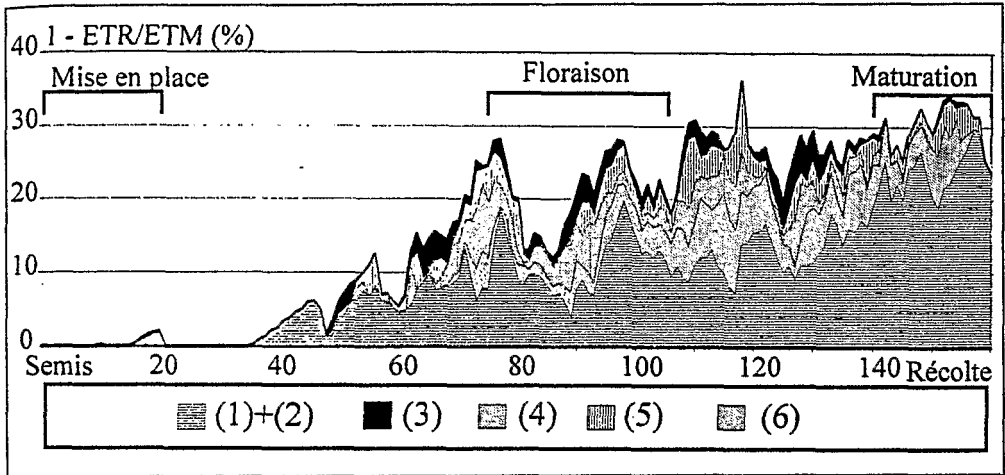


Figure 4 - Evolution des déficits hydriques simulés du maïs (cycle de 160 jours) au cours de la période de culture (moyennes pour l'ensemble des parcelles cultivées). La courbe enveloppe représente le déficit total. Les nombres de la légende correspondent avec ceux donnés dans le tableau 2.

	Mais	Luzerne
Déficits hydriques: 1-ETR/ETM (%)	84	97
Raisons de déficits hydriques (% du déficit total)		
Désistements	(1) 44	78
Mouvements d'irrigation	(2) 8	0
Faiblesse de la dose apportée	(3) 5	13
Longueur des tours d'eau (sans compter les interruptions)	(4) 16	3
Interruptions pour le service des autres usagers	(5) 10	7
Interruptions globales	(6) 16	0

Tableau 2 - Résumé des résultats du maïs et de la luzerne pour toute la durée de végétation (moyennes pour toutes les parcelles en culture).

Les déficits hydriques calculés sont très forts pour le maïs, et réduits pour la luzerne. Dans les deux cas, la plus grande part est due aux désistements. La grande durée des tours d'eau ne permet pas aux usagers de revenir sur une décision malheureuse, quand la pluie attendue ne vient pas (notons que l'année d'étude est particulièrement sèche). Ce problème déjà sensible de est encore accentué par les interruptions globales et celles dues au service des autres usagers.

Dans le cas du maïs, les déficits hydriques se produisent surtout durant la période de floraison, qui représente le stade le plus sensible (Begg et Turner 1977). L'enracinement plus profond de la luzerne explique sa moindre sensibilité aux déficits hydriques que le maïs, imputable plutôt aux doses faibles qu'aux temps d'attente entre deux irrigations.

Dans tous les cas, l'influence de la pluie est forte et évite des déficits plus intenses.

Pertes d'eau

Ces pertes sont importantes (51 % de l'apport total) et se produisent de façon uniforme au cours de la saison. La plus grosse part (55 % des pertes totales) est due à une dose excessive (plus grande que la réserve utile maximale). Les autres raisons de pertes d'eau (20 %) sont liées au fonctionnement normal d'un système de distribution au tour d'eau ; en particulier, quand les périodes et doses d'irrigation sont fixées pour satisfaire des demandes maximales, il est normal que des pertes apparaissent quand la demande est moindre. Les irrigations surnuméraires ont de fortes conséquences moyennes (20 % des pertes d'eau), mais interviennent principalement au cours des périodes de faible demande, et ne peuvent être considérées comme le signe d'un dysfonctionnement.

Discussion

le système est engagé
dans un cercle
vicioux

Les résultats présentés sont des moyennes calculées pour l'ensemble des parcelles. En réalité, les stratégies adoptées par les agriculteurs sont variées et donnent lieu à des résultats divers (voir les exemples en encart). Les parcelles montrant des conditions d'alimentation hydrique optimales sont cependant très rares, et ont profité d'un semis précoce début juillet (quand le faible taux de service autorise des tours d'eau relativement courts au stade de mise en place comme le montre la figure 3), d'un travail intensif (pas de désistements), et surtout de la chance de voir la pluie mouiller le sol au bon moment.

Le travail d'analyse nous montre donc une utilisation peu rationnelle de l'eau, qui aboutit à de graves déficits hydriques et d'importantes pertes d'eau, alors que la dotation globale est suffisante.

Cette situation est le résultat d'un cercle vicieux qu'on peut exprimer de la façon suivante :

- * Les usagers des petites parcelles accumulent des droits pour se préserver un certain statut social et rendre l'arrosage moins cher (il est plus facile de bien distribuer une grande quantité d'eau, et c'est la main-d'oeuvre qui est chère à Urcuqui).
- * Les droits d'eau et la durée des tours d'eau deviennent élevés. La satisfaction des besoins hydriques des cultures n'est plus assurée.
- * Les rendements et les revenus des activités irriguées baissent.
- * Les usagers tendent à choisir des systèmes de production plus extensifs : cultures demandant moins de travail, satisfactions des besoins en eau par les pluies (refus d'irrigation). Les activités non liées à l'irrigation se développent et empêchent de réaliser des irrigations (on n'irrigue pas la nuit et seulement un week-end sur deux). L'utilisation d'intrants décroît, on a d'autant plus intérêt à payer l'arrosage peu cher, et donc à augmenter son droit d'eau.

La faiblesse des autorités hydrauliques a permis aux usagers d'accumuler des droits d'eau. Cette faiblesse existe encore et l'association d'usagers actuelle n'est pas capable de briser ce cercle vicieux.

Notons tout de même que les résultats très négatifs des simulations sont parfois à nuancer. En effet, les arrosages ont été suivis par l'intermédiaire de l'aygadier, qui ne gère que les irrigations légales. Il est possible que quelques arrosages aient lieu de manière informelle. Les exploitants de certaines parcelles ainsi irriguées pourraient ainsi prendre la décision de "passer leur tour", sans que le bilan hydrique des cultures en soit aussi affecté que dans nos calculs. Cependant, nous n'avons que très rarement observé de telles pratiques, et toujours pour de très faibles débits. Dans le cadre d'une reproduction du travail réalisé à Urcuqui, il serait pourtant nécessaire de prévoir une estimation plus systématique de ces arrosages informels.

quelques arrosages informels nuancent les résultats

Conclusion

*C*e premier essai d'étude du fonctionnement réel du système de distribution de l'eau est très positif puisqu'il nous a per-

mis de qualifier et de quantifier bon nombre de ses dysfonctionnements. L'analyse fournit des éléments indispensables à l'élaboration d'actions de réhabilitation qui auront à être débattues avec les usagers (la base de la réhabilitation est la restructuration des droits d'eau, pour aboutir à de tours d'une durée plus cohérente avec les besoins). Ces éléments pourront aussi être utilisés comme une référence pour évaluer les conséquences de modifications prévues du système de distribution (modification des dotations des parcelles, changement des règles du tour d'eau). Les résultats de tels changements peuvent en effet être simulés en fournissant au modèle les valeurs programmées.

Il ne s'agit cependant que d'un essai, qui a fait apparaître des aspects inattendus dont il faudra tenir compte pour affiner la méthode d'analyse.

Dans le cadre de l'utilisation future de cette méthode, il ne faudra pas oublier non plus que les stratégies adoptées par les agriculteurs sont difficiles à prévoir. A Urcuqui par exemple, l'importance très inattendue des désistements nous permet de supposer l'échec d'actions de réhabilitation qui n'autoriserait pas l'usage de l'eau par des usagers double actifs, au moins pendant les premières années.

Bibliographie

- BEGG J.E., TURNER N.C. 1977. Crop water deficits. *Advances in Agronomy*, 28 :161-217.
- DOORENBOS J., PRUITT W.O. 1975. Crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper N°24*, Rome, FAO.
- DOORENBOS J., PRUITT W.O. 1984. Guidelines for predicting crop requirements. *Irrigation and Drainage Paper N°24* (2nd edition), Rome, FAO, 144 p.
- FOREST F. 1984. Simulation des besoins en eau des cultures, présentation du modèle B.I.P. CIRAD-IRAT, 61 p, multigraphié.
- GILOT L. 1994. L'eau des livres et l'eau des champs. Des règles de la distribution à leur mise en pratique. Principes généraux et analyse du cas d'Urcuqui. Thèse, ENSAM-ORSTOM, Montpellier, 355 p.
- GRET 1991. La réhabilitation des périmètres irrigués. Synthèse des travaux du groupe de travail "réhabilitation des périmètres irrigués". GRET, 80 p.
- IMI 1990. Gestion de l'irrigation en Amérique latine : situation actuelle, problématique et possibilités d'amélioration. IIMI, Colombo, Sri Lanka, 105p.
- IMI 1991. Evaluación del desempeño en sistemas de riego administrados por los agricultores. Actas del tercer seminario internacional de la red de FMIS, 12-15/11/91, Mendoza, Argentine. IIMI/INCYTH, draft.
- JEAN M., VACCA G. 1987. La distribution de l'eau au tour d'arrosage. *Bulletin de liaison du CIEH*, 68 : 20-38.
- JENSEN M.E., WRIGHT J.L., Pratt B.J. 1971. Estimating soil moisture depletion from climate, crop and soil data. *Transactions of the ASAE*, 14 : 954-959.
- RUF T., NUÑEZ P. 1991. Enfoque histórico del riego tradicional en los Andes ecuatorianos. Memoria (Quito, Ecuador), 2 :185-282.

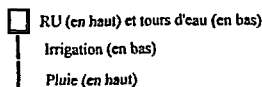
Deux exemples de comportements de parcelles

On présente les graphiques du bilan hydrique de quelques parcelles illustrant bien les résultats du système de distribution d'Urcuqui.

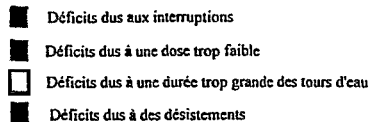
Pour chaque parcelle présentée, deux graphiques sont donnés. Celui du haut retrace l'évolution de la réserve utile (RU/RUMx100). Celui du bas indique les déficits hydriques simulés (c'est à dire la valeur ETR/ETMx100). Les gains simulés ne sont pas représentés.

Légende :

Graphique de l'évolution de la réserve utile



Graphique de l'évolution des déficits hydriques



La courbe enveloppe représente le déficit total

Graphique du bilan hydrique de la parcelle D10b

Superficie : 0,4 ha,

droit de 3,5 heures (9h/ha)

Culture de maïs (160 jours)



La dotation forte amène une efficacité faible (35%), mais ne garantit pas une alimentation correcte.

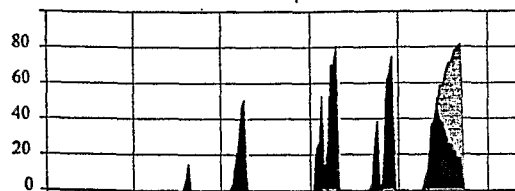
Toutes les irrigations sont prises, leur dose suffit à remplir la RU (sauf pour la dernière, qui occasionne un déficit en fin de cycle). Malgré cela des déficits apparaissent avant chaque irrigation, dus à une durée des tours d'eau trop longue. Un important déficit dû à des interruptions de fonctionnement se fait sentir après la période de pluie, pendant laquelle l'assemblée des usagers a jugé bon de couper l'alimentation du périmètre pendant plusieurs jours.

Graphique du bilan hydrique de la parcelle C13

Superficie : 1,5 ha,

droit de 6 heures (3,9 h/ha)

Culture de maïs (160 jours)



L'usager a décidé de se désister (flèche), alors que les pluies étaient importantes. Les conséquences en sont importantes :

- * avant le droit d'eau suivant
- * encore ensuite, car des doses faibles n'ont pas pu recharger la réserve utile, affaiblie par le refus antérieur.
- * le déficit hydrique est aggravé sur la fin par des interruptions de fonctionnement entre la septième et la huitième irrigation.

Résumé

La méthode présentée permet d'évaluer le fonctionnement réel de systèmes de distribution de l'eau à l'intérieur d'un périmètre irrigué. Elle est basée sur la comparaison des règles et des pratiques d'arrosage. Les déficits hydriques et les excès d'eau sont calculés par la simulation du bilan hydrique des cultures à un pas de temps journalier à l'échelle de la parcelle. Leurs différentes raisons dans le cadre du déroulement du tour d'eau sont évaluées par la simulation d'événements fictifs.

Le transfert d'échelle de la parcelle au périmètre nous permet d'analyser les résultats globaux autant que la variété de comportement des différentes parcelles irriguées. Les dysfonctionnements sont clairement montrés et permettront de définir des actions de réhabilitation et leurs rangs de priorité.

Un exemple d'utilisation de la méthode est donné dans le cas d'un petit périmètre irrigué à gestion paysanne (Andes équatoriennes).

knowledge, and the means to track the water during its passage from the slope basin to the irrigated plot of land. Historical research lends a certain depth to the current diagnostic, but goes even further. In the conflicts concerning the sharing of resources, the account of the historical basis of the distribution rules in practice enables the people and groups opposed to find a common ground based on the former construction of their system, and to envision a renovation of the canal on the basis of the renewal of the social contract of the water towers.

→ **p. 20** *Water distribution: an approach using complete follow-up of watering in Urcuqui*
L. Gilot, R. Calvez

The method presented makes it possible to evaluate the real operation of water distribution systems within the irrigated area. It is based on the comparison of watering rules and practices. Hydric deficits and excess water are calculated through the simulation of the hydraulic balance of the cultivated land on a daily basis (per plot of land). Their different ratios in the context of the operation of the water tower are evaluated through the use of simulated events. The shift in scale from the plot of land to the irrigated area enables us to analyse the overall results as well as the diverse behaviour of the different irrigated plots of land. Dysfunctions are clearly shown, and make it possible to specify the renovation actions needed and their level of urgency.

An example of the use of the method is given in the case of a small irrigated area managed by farmers (Ecuadorian Andes).

p. 33 *The issues surrounding hydro-agricultural developments in Ethiopia and Eritrea*
A. Gascon

The article re-situates the irrigated areas within the agrarian and agro-pastoral systems of Ethiopia and Eritrea, which are faced with the challenge of dealing with a population which has doubled in 25 years, as well as with an unstable climate and various supporters of authoritarian agricultural reform.

Impact studies have revealed that dam construction and poor irrigation techniques have had serious consequences for the natural environment. It had been established that the monopolising of pasture space was likely to cause food shortages—and even famine—among shepherds. The introduction of payment by salary upset the labour market in farm regions, and triggered a process of social stratification; alongside a class of pieceworkers, conscripted in the surrounding regions and underpaid, a technological aristocracy was flourishing.

Hydro-agricultural developments carried out at the regional level, and using imported techniques, should be 'naturalised' by means of a precise study of agrarian and agro-pastoral systems. The farmers of the high plateaux have mastered a system of local irrigation which enables them to obtain two—and sometimes three—annual harvests without any help from imported inputs, and thus without any currency outlays.

The division of the hydraulic resources of the Ethiopian water tower may become a casus belli with Somalia, the Sudan, and even Eritrea.

p. 49 *Private project developments in the Senegal river delta*
J.-F. Belières, M. Faye

In Senegal, in the delta of the Senegal river, 'private projects', i.e. the irrigated land developed by the producers themselves, outside of the Société d'Aménagement (the SAED), and without direct government aid, have greatly increased in recent years. Their surface area has increased in the space of five years from 2500 ha to more than 20 000 ha, although the development rate (particularly as concerns rice growing) remains weak (approximately 60%).

These projects, the diverse technical and socio-economic aspects of which are not very well known, are often carried out in a perfunctory manner, and have less economic efficiency as a result. Their growth, linked as it is to a series of favourable factors throughout the whole of the sector, generates a number of positive aspects, but also renders the sector more fragile and hinders the development in progress.

Today, steps should be taken to ensure that these projects carried out outside the aegis of the SAED will be able to continue and multiply. Furthermore, in order to be able to make the necessary decisions which will facilitate the regulation of the dynamic created, and thus aid in tailoring it to the needs of the producers, a more thorough understanding of the events currently transforming this region is needed.

p. 65 *The question of land ownership in the irrigated areas of the Office of the Niger (Mali)*
J.Y. Jamin, M.J. Doucet

In the nineteen thirties, when the Office of the Niger, a major irrigation project, was created, the African colonists installed by the Office were supposed to rapidly receive guarantees of land ownership. In fact, no real land security was ever given to them, and for nearly sixty years the land situation of the colonists has remained precarious and unstable, with the allocation rules, the sites, and the eviction rules often changing with time.

The political democratisation in progress in Mali favours the process of giving farmers the responsibility over their land, but this shift remains timid, all the more in that its legal foundation is still uncertain. The individual land situation of the 1000 colonists of the Office is far from being secure, since less than 40 of them have been able to obtain agricultural operating permits in due form. The land owning power of the operators against the Government and the Office of the Niger in the past, and the village associations in the future, is even weaker in that the land, which is supposed to be inalienable, is in fact the only available guarantee of credit; the non-payment of debts remains the main—even the only—motive behind the eviction of the compartments.

p. 83 *The rebirth of an agricultural flooding practice on the high plateaux of Mexico*
E. Mollard

Entanquamiento is the controlled flooding of farm land during two months of the rainy season. Today, it is used to prepare irrigated strawberry and potato cultivation. Its agronomic function is to control weeds and crop-damaging insects. This original practice requires three pre-conditions: the impossibility of regularising the river; an abundance of manpower; and the continuing development of the valley since its first haciendas. The technique has been continued throughout the ages thanks to its multiple effects on farmland. Formerly, the compartments had diverse objectives: fertilisation, sealing, water retention or avoidance of rises in the water level. The future of this practice is currently a subject of political debate, with the 'waste' of water which it entails being weighed against the demands of the social sectors lower down.

Resúmenes

p. 5 *Representaciones de los sistemas de riego sobre una vertiente de los Andes Ecuatorianos: la región de Urcuquí*
Th. Ruf, P. Le Goulven, R. Calvez,
L. Gilot

El estudio monográfico de las redes de riego de Urcuquí, en el Norte de los Andes Ecuatorianos ha permitido definir los diferentes niveles de investigación para comprender el funcionamiento de un conjunto complejo de sistemas de riego. Es necesario combinar diversos enfoques científicos: hidrología e hidráulica para analizar los recursos en agua, agronomía y economía para analizar el uso

en los sistemas de producciones agrícolas, ciencias sociales para analizar las reglas de reparto del agua. En Urcuquí se demuestra que estos enfoques son fructuosos si se basan en una división espacial común, un buen conocimiento geográfico de las redes y de los medios de seguimiento del agua a través de todas las escalas, desde la cuenca vertiente hasta la parcela irrigada. La investigación histórica no sólo da más profundidad al diagnóstico actual, sino que va mucho más allá. En casos de conflicto de reparto de los recursos, la presentación de los fundamentos históricos de las reglas de distribución existentes permite que las personas y grupos opuestos se entiendan en el marco de las etapas antiguas de construcción del sistema y consideren un proceso de rehabilitación del canal fundado en la renovación del contrato social relativo a los circuitos de agua.

p. 20 *Distribución del agua: enfoque mediante el seguimiento completo del riego en Urcuquí*
L. Gilot, R. Calvez

El método que se presenta permite evaluar el funcionamiento real de los sistemas de distribución de agua en el interior de un perímetro irrigado. Se basa en la comparación de la reglas y prácticas de riego. Los déficits hídricos y excesos de agua se calculan mediante la simulación del balance hídrico de los cultivos a un paso de tiempo por jornada a la escala de la parcela. Las diferentes razones, en el marco del circuito del agua, se evalúan mediante la simulación de acontecimientos ficticios. La transferencia de escala desde la parcela hasta el perímetro nos permite analizar los resultados globales así como la variedad de los comportamientos de las diferentes parcelas irrigadas. Los disfuncionamientos, claramente demostrados, permitirán definir acciones de rehabilitación y sus órdenes de prioridad. Se presenta un ejemplo de utilización del método en el caso de un pequeño perímetro irrigado bajo gestión campesina (Andes Ecuatorianos).

p. 33 *Las apuestas de los aprovechamientos hidroagrícolas en Etiopía y Eritrea* - A. Gascon

El artículo reubica los perímetros irrigados en los sistemas agrarios y agropastorales de Etiopía y Eritrea sometidos al reto de la duplicación de la población en 25 años, a un clima caprichoso y a las vicisitudes de las reformas agrarias autoritarias. Los estudios de impacto revelan que la construcción de presas y las téc-