

# Stratégies d'arrosage et fonctionnement global d'un système irrigué

Le cas d'Urcuqui (Equateur)

Luc Gilot

Roger Calvez

## Introduction

L'irrigation suppose une mobilisation de l'eau qui peut rarement être menée par un agriculteur isolé. Le plus souvent, les parcelles irriguées sont alimentées à partir d'une source unique, captée collectivement. L'eau doit ensuite être répartie entre ces parcelles, via les infrastructures : les règles de la distribution fixent les volumes alloués à chacune et précisent les modalités des apports (dates, débits, durées). On peut donc définir un système irrigué comme l'ensemble d'une infrastructure hydraulique (de la source aux parcelles), de règles de partage de la ressource, des usagers eux-mêmes (leurs stratégies, leurs pratiques, les relations entre eux), et des interactions entre ces trois éléments (Gilot, 1994). Les règles définissent le cadre de la distribution de l'eau, les infrastructures influencent la disponibilité globale de l'eau. Les pratiques des agriculteurs eux-mêmes, dans le cadre de leurs systèmes de production, peuvent jouer sur la disponibilité en eau.

On présente ici une analyse du fonctionnement d'un système irrigué particulier : celui d'Urcuqui (Andes d'Equateur). Ce travail fait partie du programme de recherche de l'Orstom en collaboration avec l'Inerhi (Instituto ecuatoriano de recursos hidraulicos) en Equateur. On se focalise ici plus

spécialement sur les aspects liés aux décisions agricoles en cours de cycle, en début de cycle et sur le long terme. On cherche à quantifier et à interpréter les décisions individuelles (emplantements, dates de semis, dates et doses d'arrosage) ou collectives (dimensions des infrastructures, règles de la distribution), à évaluer leurs conséquences sur la satisfaction des besoins en eau des cultures, et à comprendre comment les décisions agricoles influencent la disponibilité en eau dans le périmètre.

Du point de vue scientifique, on contribuera ainsi à la compréhension des processus de décision agricole dans un cadre contraignant, et de l'élaboration du cadre collectif sous l'influence des pressions des usagers. Du point de vue pratique de l'aide au développement, on dégagera les facteurs qui limitent la productivité du système, pour proposer à la collectivité des irriguants une refonte des modalités de la distribution de l'eau.



## Matériel et méthodes

### *Le périmètre irrigué d'Urcuqui*

Ce périmètre est localisé dans le nord des Andes d'Equateur, près de la ville d'Ibarra. Il totalise 170 hectares, pour 300 parcelles (environ 250 usagers), dont la taille moyenne est 0,6 ha avec une forte hétérogénéité (fig. 1 et 3), dans un contexte de saturation foncière. En effet, aucune terre n'est disponible pour l'achat ou la location puisque le village est entouré de zones d'haciendas et l'évolution de la population fait que les parcelles libérées par décès ou émigration de l'exploitant sont très rares.

L'altitude est de 2 300 m en moyenne, ce qui place Urcuqui dans l'étage tempéré (Ruf *et al.*, 1994). L'évapotranspiration potentielle est relativement constante au cours de l'année (3,4 mm/j). La pluviométrie est caractérisée par une saison pluvieuse d'octobre à avril, coupée d'une période plus sèche très variable selon les années, autour du mois de janvier. La variabilité est importante (moyenne : 760 mm ; sécheresse décennale : 550 mm ; année pluvieuse décennale : 985 mm). Le bilan hydrique est déficitaire y compris au cours de la saison des pluies (fig. 2).

Les sols sont peu profonds (moins de 60 cm), de texture sablo-limoneuse. Leur réserve utile (RU) est faible : de l'ordre de 70 mm pour 60 cm. Les cultures annuelles (presque exclusivement maïs suivi de haricot sur une saison) représentent 78 % de la superficie irriguée. Leur enracinement est peu profond : 40 cm (soit une RU de 50 mm). Le maïs a un cycle de 160 jours. En culture sèche, il est semé en octobre et profite au mieux de la saison

pluvieuse. L'irrigation permet un semis plus précoce (juillet), une meilleure valorisation de la récolte (les prix sont plus favorables), et la pratique d'une culture de haricot en succession. C'est une logique d'intensification, qui s'accompagne souvent d'apports d'intrants supérieurs. Certaines parcelles comportent aussi une partie de prairie (15 % de la superficie du périmètre) ou de luzerne (5 %). L'irrigation est gravitaire, à la raie. Le débit reçu (module : théoriquement 52 l/s et en pratique autour de 41 l/s) est très supérieur à celui que peut manipuler facilement une personne (main d'eau) et impose la présence de trois à quatre travailleurs sur la parcelle pour l'épandage lorsqu'on veut obtenir une bonne efficacité (de l'ordre de 95 % : Gilot, non publié). Les travailleurs journaliers sont embauchés pour la journée complète.

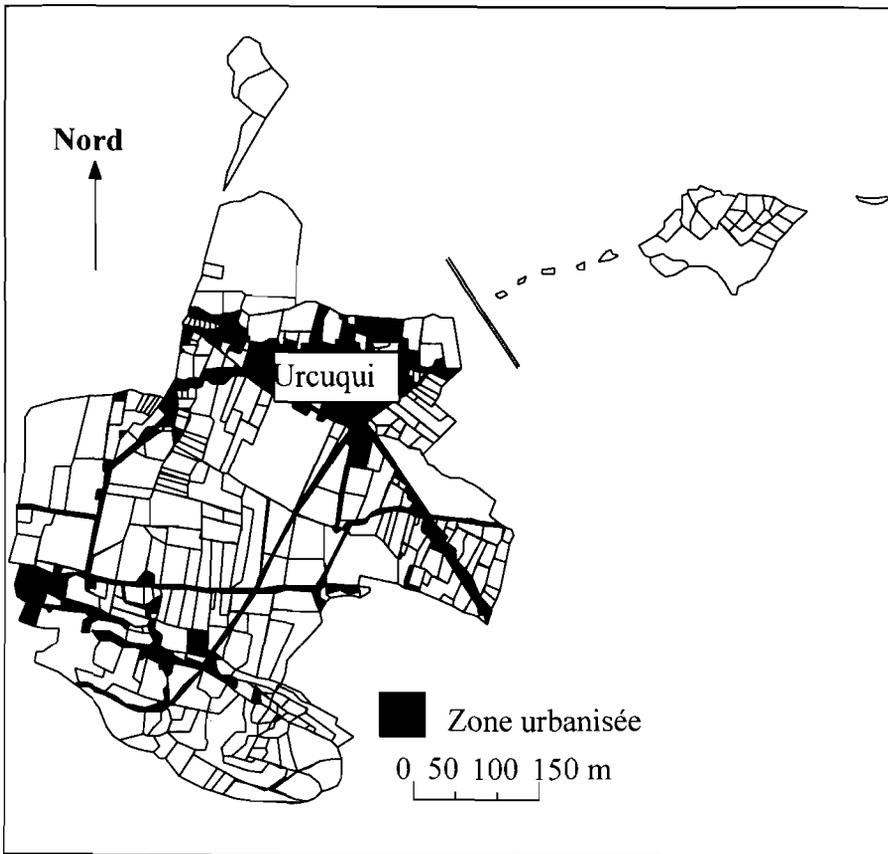


Figure 1 – Cadastre de la zone irriguée d'Urcuqui.

Le périmètre reçoit l'eau du canal « Grande o de Caciques », dont la concession légale est de 200 l/s (le débit disponible est relativement constant au cours de l'année, du fait des caractéristiques du bassin versant). Ce débit

théorique permanent n'est pas entièrement à la disposition du village : 1/3 du débit, soit 70 l/s vont à la commune voisine, San Blas ; trois jours toutes les deux semaines sont réservés pour d'autres usagers : les « caciques » et les « terceros ». Finalement, Urcuqui a droit à 130 l/s, 11 jours sur 14. Dans la pratique, le débit fourni au village est double de celui reçu en tête de périmètre (soit 260 l/s), puisqu'un réservoir stocke l'eau la nuit, pour la restituer de jour en plus du débit capté.

### *Distribution de l'eau entre les parcelles*

Le périmètre est subdivisé en cinq secteurs, chacun recevant 1/5 du débit en permanence, soit environ 52 l/s en théorie (= 260/5). Pour chaque secteur, le règlement de l'assemblée des usagers définit une distribution par rotation souple (Gilot, 1994 ; Gilot et Ruf, sous presse). C'est une rotation (ou tour d'eau) puisqu'on sert les parcelles dans un ordre prédéfini : ici de l'amont vers l'aval. La rotation est souple par plusieurs aspects : 1) à la suite d'une interruption de fonctionnement, le service reprend à la première parcelle qui n'a pas pu être servie du fait de l'interruption ; 2) chaque usager a la possibilité de passer son tour : s'il estime ne pas avoir besoin de l'eau, il se désiste et l'eau est directement proposée à l'usager suivant ; 3) l'ordre de service des parcelles laisse une liberté de un ou deux jours dans le choix de la date d'arrosage.

Dans le cadre du tour d'eau, chaque usager a le droit d'utiliser le débit quand vient son tour, pour une durée déterminée. Cette durée est appelée le droit d'eau, elle s'exprime en heures et correspond en réalité à un volume (débit x durée). A Urcuqui, les droits ont été définis en 1945, par achat, sur la base théorique de trois heures par hectare, mais sans prendre en compte la superficie réelle (Ruf et Nuñez, 1991). Chaque heure d'arrosage achetée en 1945 représente à la fois un investissement important (l'équivalent d'une année de salaire d'un travailleur journalier), mais qui reste valable pour des générations, et un gage de position sociale. On ne peut s'en servir que sur la parcelle pour laquelle il a été attribué ; on ne peut le transmettre qu'avec la terre concernée.

Connaître ce droit d'eau et la superficie de la parcelle à laquelle il se rapporte permet de calculer la *dotation* de la parcelle : le rapport du droit à la superficie, exprimé en heures par hectare. La moyenne est de six heures par hectare (le double de la base prévue en 1945), soit une dose théorique de 110 mm par arrosage, très variable selon les parcelles (plus la parcelle est plus petite, plus sa dotation est forte (fig. 3)). Du fait du règlement des usagers qui impose une distribution par demi-heures, les petites parcelles sont nécessairement

surdotées (fig. 3). Réciproquement, le maximum de quinze heures par parcelle fait que les grosses parcelles sont sous-dotées. La dotation forte d'une parcelle n'est donc pas forcément le signe d'une stratégie d'accumulation des droits d'eau de la part de son propriétaire, même si l'étude historique (Ruf et Nuñez, 1991) montre que les dotations ont presque systématiquement augmenté depuis l'inscription de 1945, notamment par le biais de surinscriptions illégales.

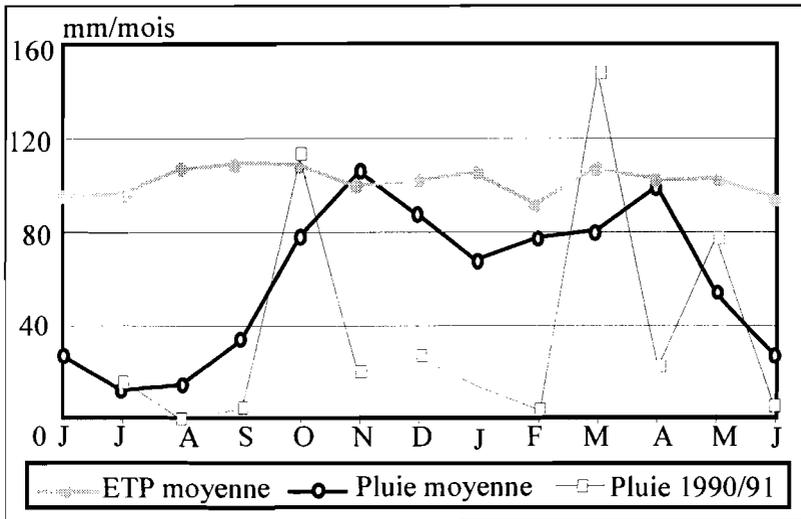


Figure 2 — Climat à Urcuqui (d'après Le Goulven et Alemán, 1992).

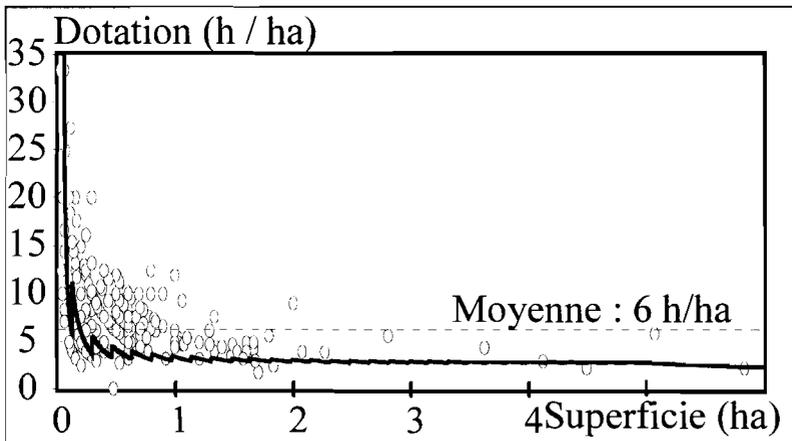


Figure 3 — Relation entre la dotation des parcelles et leur superficie.

Chaque point représente une parcelle. La ligne pleine représente la dotation théorique d'une parcelle, compte tenu des règles théoriques d'allocation (3 h/ha, par demi-heures, avec un maximum de 15 heures).

On peut calculer la durée des tours d'eau comme la somme de tous les droits d'eau (21 jours pour servir les 1 040 heures, avec 10 heures d'arrosage par jour et par secteur), augmentée de la durée des interruptions pour servir les autres usagers du canal (trois jours toutes les deux semaines, soit en moyenne quatre jours par tour). La durée théorique des tours d'eau en l'absence d'interruptions de fonctionnement du canal et si tous les usagers sont servis est donc de 25 jours environ.

Dans le cadre des règles actuelles, les parcelles peuvent donc théoriquement recevoir une dose moyenne de 110 mm tous les 25 jours. Ce calendrier théorique suggère deux remarques : 1) la dose moyenne est plus forte que la réserve utile des cultures annuelles (50 mm), et laisse supposer des excès d'eau lors des arrosages ; 2) l'écart théorique entre deux arrosages dépasse largement les 14 jours qui suffisent à vider la réserve utile aux périodes de forts besoins des cultures. Les irrigations ne suffiront pas à satisfaire ces besoins. De plus la longueur des tours d'eau est *a priori* variable : éventuellement allongée par les interruptions de fonctionnement, elle peut aussi être raccourcie par les désistements. *A fortiori*, l'écart entre deux arrosages pour une parcelle ne peut pas être connu à l'avance, puisqu'il est soumis à la durée des tours d'eau, mais aussi à la décision de l'utilisateur d'arroser ou non pendant une rotation, d'avancer ou de retarder un arrosage.

### *Dispositif de suivi et de calcul*

Pour évaluer la satisfaction des besoins en eau des cultures, il faut connaître les actes d'arrosage réels. Pour resituer ceux-ci dans le cadre du tour d'eau et par rapport à une décision agricole, il est indispensable de connaître tous les arrosages de toutes les parcelles, sur une saison agricole (par exemple, pour savoir si un écart important entre deux arrosages est dû à une interruption de fonctionnement, à un désistement, ou simplement au fonctionnement normal du tour). Trois suivis ont donc été menés, des premiers semis du maïs aux dernières récoltes du haricot (du 01/06/90 au 12/06/91) : 1) suivi des cultures en place ; 2) suivi des arrosages (parcelles servies chaque jour, durée de chaque arrosage, par l'intermédiaire de l'aigadier) ; 3) suivi des débits par réglettes limnimétriques lues trois fois par jour et étalonnées plusieurs fois au cours de la saison. Il faut noter que ces données s'acquièrent relativement facilement, dans le cadre du travail quotidien de l'aigadier (arrosages et cultures), ou peuvent être menés par des écoliers locaux (débits), sous réserve de quelques contrôles.

Après avoir évalué les déficits hydriques à la parcelle par simulation du bilan hydrique (par un modèle classique à réservoir, avec un pas de temps journalier), on a cherché à déterminer l'origine de chaque déficit hydrique. Les déficits hydriques peuvent en effet avoir des origines variées : ils peuvent être dus aux décisions des agriculteurs, au fonctionnement hydraulique des infrastructures, ou aux règles de la distribution elles-mêmes. Nous avons élaboré une méthode d'analyse nouvelle qui permet de quantifier chaque part d'explication : elle est intégrée dans un logiciel appelé Tourdo, présenté par ailleurs (Gilot, 1994 ; Gilot, 1997)<sup>1</sup>. Les causes possibles de déficits hydriques retenues sont : désistements, avance ou report d'arrosage (effets de décisions tactiques individuelles), dotation faible (effet de décisions stratégiques individuelles), débits reçus faibles (effets du fonctionnement hydraulique), longueur des tours d'eau (effets des règles de la distribution), retards dus aux interruptions du canal.

On interprète cette dernière cause possible comme une décision collective. Quand le service s'interrompt à la suite d'une rupture accidentelle du canal, on peut parler de décision collective stratégique, puisque le choix de payer l'eau peu cher a conduit à la mise en place d'ouvrages fragiles. Quand tous les ayant-droit consultés décident de se désister, on choisit d'interrompre les tours d'eau jusqu'à ce que suffisamment d'usagers fassent la demande (décision tactique qui évite des surcharges du canal, dangereuses puisque le canal est fragile). De même, le choix de la date de l'interruption annuelle pour le curage du canal se fait collectivement. La durée du curage est potentiellement de quelques jours seulement, et dépend de la volonté des usagers de disposer rapidement de l'eau.

Les données de sortie du modèle sont : pourcentage de satisfaction des besoins en eau de la culture en place (Evapotranspiration réelle/Evapotranspiration maximale : ETR/ETM), déficit hydrique ou stress hydrique ( $1 - \text{ETR/ETM}$ ) et pourcentage du stress expliqué par chaque cause possible. Ces données sont regroupées pour chaque parcelle pour le cycle entier, à l'exclusion du stade de maturation, qui n'est pas considéré (le sevrage en eau à ce stade permet un bon séchage du grain). Le stade de floraison mâle est présenté en plus, de façon séparée : il représente la période critique au cours de laquelle une mauvaise alimentation en eau a le plus de conséquences sur le rendement en grains (Rouanet, 1982). Ces données obtenues pour chaque champ sont ensuite regroupées pour représenter le périmètre entier ou des groupes de parcelles.

---

<sup>1</sup> La version actuelle de ce logiciel permet l'interprétation des actes d'arrosage observés, et non la simulation de la prise de décision elle-même.

## *Simulations particulières*

L'année d'étude est caractérisée par une sécheresse importante au cours des mois habituellement pluvieux (novembre à février). Une telle sécheresse a une fréquence théorique de retour de 50 ans (d'après Le Goulven et Alemán, 1992). Nous avons évalué les conséquences d'une situation pluviométrique plus « habituelle » en substituant aux pluies réelles des mois de novembre à février celles mesurées pour les mêmes mois durant la saison 1988-1989. La pluviométrie fictive obtenue (légèrement plus pluvieuse que la moyenne) a une fréquence de retour d'environ une année sur trois (d'après Le Goulven et Alemán, 1992). Pour une parcelle, la différence entre les résultats de cette simulation et ceux de la simulation pour les pluies réelles montrera quelle part du déficit hydrique est imputable à la sécheresse elle-même.

Enfin, pour tester l'influence globale des désistements, nous avons fait tourner le modèle Tourdo pour des rotations fictives, calculées selon les règles de la distribution (droit d'eau et rang dans le tour) et avec les emblavements et débits réels, mais dans lesquelles aucun usager ne se désiste alors qu'une culture est pratiquée.

## *Analyse de données*

La typologie des parcelles est réalisée par classification automatique, par l'intermédiaire du logiciel MacDendro (Thioulouse, 1993), sur le critère des moments d'ordre 2 (Roux, 1985). Les liens entre les groupes obtenus ont été décrits par une analyse en composantes principale normée (ACP), à l'aide du logiciel ADE (Chessel et Doledec, 1993). Les données de base sont les pratiques culturales (dates de semis et arrosages pratiqués) et les paramètres de satisfaction des besoins en eau des cultures (déficits hydriques et leurs raisons, pour les deux scénarios climatiques). Les corrélations entre variables sont testées par régression linéaire, le seuil de signification choisi est 5 %. Enfin, la corrélation entre l'ordre théorique des parcelles (cadastre) et l'ordre réel a été testée par l'analyse du coefficient de corrélation sur rangs de Spearman (Spearman, 1904).



## Résultats

### *Déroulement de la distribution*

Les règles sont globalement très bien respectées. L'ordre de service des parcelles est en accord avec l'ordre théorique ( $p < 0,01$ ), les droits d'eau sont

respectés. Les visites de terrain montrent que les irrigations non gérées par l'aigadier (vols d'eau, utilisation d'un droit d'eau d'une parcelle abusivement sur une autre parcelle) sont rares. En revanche, la dose reçue à la parcelle est souvent inférieure à la dose théorique. En effet, le débit moyen capté est inférieur à la concession (183 l/s mesurés contre 200 l/s concédés), et les débits servis sont variables au cours de la saison, mais plus encore d'un jour à l'autre et au cours de la journée (Gilot 1994).

Le service de tous les usagers (usagers normaux, caciques et terceros) ne prend en moyenne que 19 jours au lieu des 25 jours théoriques. Même si de nombreuses interruptions de fonctionnement les allongent, les rotations restent en moyenne bien plus courtes que prévu (21 jours). En effet, les taux de service (droits servis / tot. des droits) sont faibles (fig. 4). Même quand une culture est pratiquée, de nombreux usagers « passent leur tour » (exemple en fig. 5). Durant le cycle du maïs, le tour d'une parcelle revient sept fois en moyenne pour l'année d'étude. Cinq seulement sont utilisés. Les désistements se produisent tout au long de la saison. Ils sont plus rares en début de cycle, et plus nombreux au début de la saison des pluies (qui a été interrompue brutalement cette année).

### *Satisfaction des besoins hydriques des plantes et effet de la sécheresse*

Nous ne discuterons que du cas de la culture du maïs, la plus importante à Urcuqui. Les résultats résumés pour l'ensemble du périmètre sont présentés dans le tableau 1. La figure 5 montre un exemple de résultat individuel.

La satisfaction des besoins en eau pour l'ensemble du cycle cultural est faible :  $ETR/ETM = 84\%$ . Les déficits hydriques sont particulièrement marqués à la période de floraison ( $ETR/ETM = 78\%$ ). On peut donc prévoir des rendements très affectés par le manque d'eau au champ.

La distribution des déficits selon leur origine est *a priori* surprenante, elle est la même pour l'ensemble du cycle que pour la phase de floraison. La durée totale des tours d'eau (service des usagers normaux, caciques et terceros) n'explique que 25 % des déficits hydriques. La majorité des déficits hydriques (60 %) dépendent des décisions des usagers : les désistements, avances et retards d'arrosage et les interruptions de fonctionnement expliquent respectivement 45 % et 15 % des déficits. Enfin, bien que le risque de recevoir un débit plus faible que prévu soit élevé à chaque arrosage, la réception de doses insuffisantes n'explique que 5 % des déficits hydriques en moyenne.

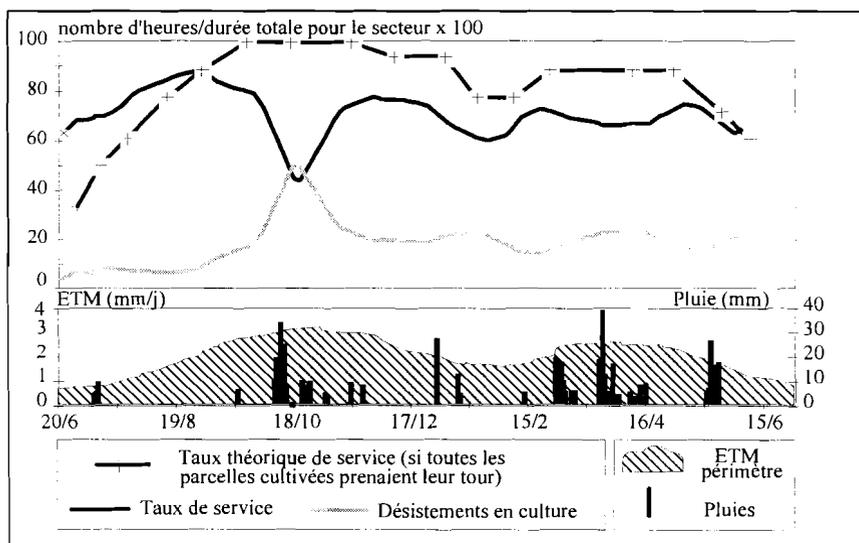


Figure 4 — Evolution des taux de service (pourcentage des droits servis par rapport aux droits totaux) théoriques (chaque parcelle cultivée est servie) et réels, et des taux de désistement en culture, durant la période d'étude. On représente aussi chaque pluie, et la demande globale des cultures du périmètre.

Tableau 1

Déficits hydriques et leurs causes : comparaison entre les situations pluviométriques réelle et « habituelle »

Période	Situation pluviométrique	Satisfaction des besoins en eau (ETR / ETM)	Part des déficits hydriques dus aux décisions de non-arrosage	Part des déficits hydriques dus aux règles de la distribution (service de tous les ayant-droit)
Cycle global	Pluie réelle	84 %	60 %	26 %
	Pluie « habituelle »	95 %	19 %	33 %
Floraison	Pluie réelle	78 %	57 %	27 %
	Pluie « habituelle »	94 %	28 %	41 %

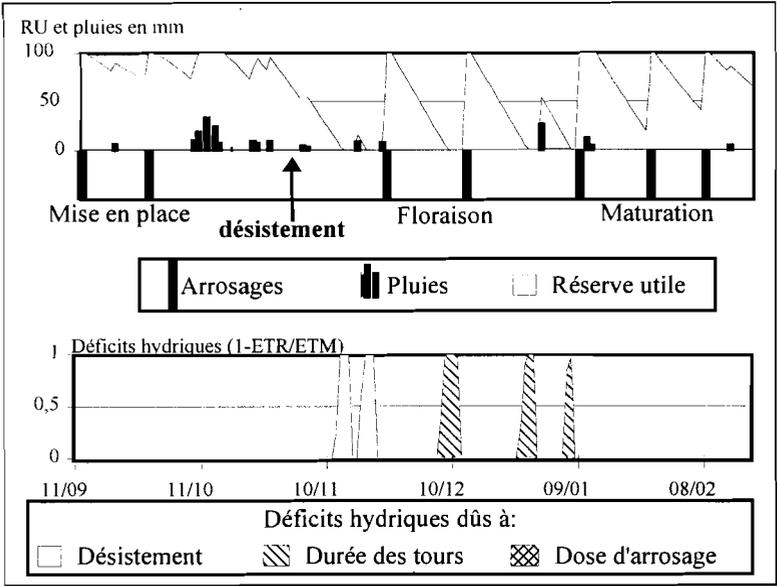


Figure 5 — Résultats du bilan hydrique sur la parcelle A75a.

Sur le graphique supérieur sont représentés les arrosages, les pluies et l'évolution de la réserve utile. Une flèche indique la date où aurait dû avoir lieu un arrosage, pour lequel l'utilisateur s'est désisté. On se trouve à une période habituellement pluvieuse, mais particulièrement sèche lors de l'année d'étude (fig. 2). On peut penser que la décision de ne pas arroser a été prise dans l'attente des pluies, qui n'ont pas eu lieu cette année. A partir de la date du désistement, les pluies attendues ne viennent pas, la réserve utile décroît et des déficits hydriques apparaissent (graphique du bas). Ces déficits hydriques sont exclusivement dus au fait que l'utilisateur s'est désisté : ils ne seraient pas apparus si l'arrosage avait été réalisé. Par la suite, tous les arrosages sont réalisés, mais des déficits hydriques continuent d'apparaître : ils sont alors dus exclusivement à la trop grande durée des tours d'eau.

Le bilan est défavorable : des déficits hydriques sensibles pour tout le cycle ( $ETR/ETM = 83\%$ ), notamment au stade critique de la floraison ( $ETR/ETM_{\text{floraison}} = 86\%$ ).

Les déficits hydriques auraient été moindres en présence d'une pluie « habituelle », mais surtout, leur explication aurait été l'inverse de ce qu'on a décrit pour la pluviométrie réelle : premièrement l'influence relative des désistements et interruptions de fonctionnement du canal aurait été largement moindre et deuxièmement l'influence relative de la durée des tours d'eau aurait été plus forte (tabl. 1).

### Variabilité des stratégies et des résultats

Les résultats moyens présentés ci-dessus occultent une grande variété de comportements. L'écart inter-quartile pour la variable  $ETR/ETM$  (en % sur le

cycle complet) est de 12. Deux parcelles ont une ETR/ETM égale à 100 % ; quatre dépassent 40 % de déficit.

Les deux premiers axes de l'ACP prennent en compte une inertie de 5,4 sur un total de 14 (soit 39 %). Le cercle des corrélations sur ces deux axes (fig. 6B) montre deux groupes indépendants de variables (faisceaux presque perpendiculaires) :

- celles qui relatent les déficits « réels » (global et à la floraison) et dans une moindre mesure les décisions en cours de cycle (désistements) ;
- celles qui relatent les déficits « habituels » (global et à la floraison) et les choix en début de cycle (date de semis).

Les autres axes rendent compte de corrélations ponctuelles difficilement exploitables.

La typologie fait apparaître cinq groupes de parcelles (fig. 6A, 6C et 7), et montre l'opposition entre parcelles sur lesquelles la sécheresse a eu une forte influence (déficits hydriques plus forts avec la pluie réelle qu'avec la pluie « habituelle ») et parcelles dont les résultats sont les mêmes dans les deux scénarios. Les premières sont caractérisées par des semis tardifs (octobre, avec récolte en avril-mai) et des désistements nombreux : le cycle est calé sur la saison des pluies et demande *a priori* moins d'apports d'eau. Les résultats sont bons dans le cas des pluies « habituelles », mauvais dans le cas des pluies réelles (jusqu'à l'échec de la culture dans certains cas). Les secondes ont un semis précoce (à partir de juin) et peu de désistements : leurs résultats sont peu affectés par la sécheresse (meilleurs que ceux des premières dans le cas des pluies réelles, moins bons dans le cas des pluies « habituelles »).

Les régressions linéaires montrent de fortes relations entre superficie de la parcelle, stratégies et résultats (seuil de 5 %). Schématiquement, les petites parcelles sont plus souvent emblavées en maïs sans haricot de succession (intensification faible). Elles ont un semis d'autant plus tardif et des désistements d'autant plus fréquents que la parcelle est plus petite. Finalement, les déficits hydriques sont d'autant plus forts avec la pluie réelle et d'autant plus sensibles à la sécheresse que la parcelle est plus petite (fig. 8).

En revanche les relations entre dotation de la parcelle, stratégies et résultats sont bien moins nettes, bien que la dotation soit fortement liée à la taille de la parcelle (données non présentées). Seules les parcelles très peu dotées (souvent, les plus grosses parcelles) montrent une proportion plus forte de prairie. On constate aussi qu'elles souffrent plus que les autres de doses trop faibles, même si, le plus souvent, ce manque est dû à la faiblesse du débit d'arrosage réel, et non pas à l'insuffisance de la dotation : fournir un débit conforme aux prévisions supprimerait ce problème.

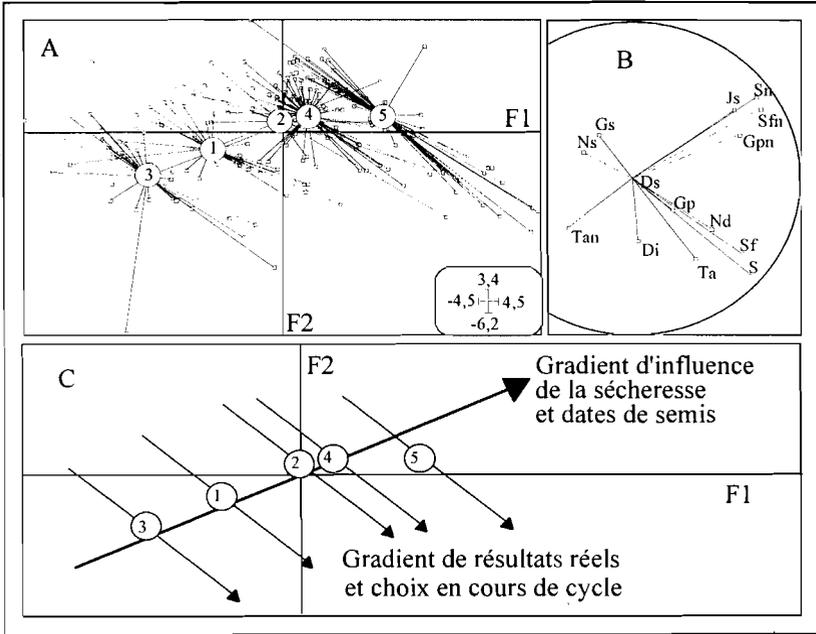


Figure 6 — Typologie des parcelles de maïs sur les deux premiers axes factoriels (F1 et F2) de l'ACP (graphe A), cercle de corrélation pour ces axes (B), schéma d'interprétation (C).

Dans le graphe A, les points représentant une parcelle sont reliés au centre de gravité du groupe dont elle fait partie. Dans le graphe B les variables sont les suivantes : Js, date de semis ; Sn, différence relative entre les stress hydriques dans le cas des pluies « habituelles » et dans le cas de l'année réelle ; Sfn, Sn pour le cas du stade floraison pris isolément ; Gp, gains dus aux pluies l'année d'étude ; Gpn, gains dus aux pluies en année « habituelle » ; S, stress hydrique « réel » ; Sf, stress « réel » à la floraison ; Nd, nombre de désistements ; Ta, déficit moyen occasionné par chaque désistement ; Tan, déficit moyen occasionné par chaque désistement dans le cas de l'année « habituelle » ; Ns, nombre d'arrosages non prévus dans le tour normal (surnuméraires) ; Gs, gains moyens par irrigation surnuméraire ; Ds, part du stress expliqué par une dose trop faible (faible dotation ou durée d'arrosage inférieure au droit d'eau) ; Di, part du stress expliqué par une dose trop faible (débit reçu faible).

### *Influence globale des désistements*

Les parcelles qui n'ont pas pratiqué de désistement durant la période d'étude auraient eu des déficits hydriques plus forts si aucun usager ne s'était désisté par ailleurs, alors que les parcelles qui se sont désistées souffrent de déficits hydriques plus forts dans la réalité que dans le tour simulé sans désistements (tabl. 2). Pour toutes les parcelles prises conjointement, les déficits hydriques sur tout le cycle auraient été globalement moindres si aucun usager ne s'était

désisté (12 % contre 16 %). La différence est encore plus marquée pour le stade de floraison pris isolément (14 % contre 22 %).

Tableau 2

Comparaison des déficits hydriques sur le maïs pour le tour d'eau réel et le tour d'eau simulé sans désistements quand une culture est cultivée (les chiffres entre parenthèse indiquent les déficits du stade de floraison)

Simulation	Toutes parcelles	Parcelles ne s'étant pas désistées	Parcelles s'étant désistées
Normale (arrosages réels)	16 % (22 %)	11 % (14 %)	18 % (24 %)
Sans désistement	12 % (14 %)	13 % (15 %)	12 % (14 %)

## Discussion

### *Collecte et interprétation des données*

La valeur des données d'arrosage utilisées dépend de la conformité du rapport de l'aigadier avec la réalité. A Urcuqui on peut penser que ce rapport reproduit correctement la réalité : 1) il est extrêmement cohérent (ordre des parcelles, nombre d'heures servies par jour) ; 2) nous n'avons que rarement observé d'arrosages informels au cours de nos visites sur le terrain, et toujours pour de très faibles volumes ; 3) les parcelles où l'arrosage officiel reprend après de nombreux désistements sont très rares : on a soit arrosage formel, soit échec de la culture et abandon définitif des arrosages.

Par ailleurs, la validation du modèle et des tests de sensibilité ont été menés dans le cas d'Urcuqui. Seules les erreurs sur l'estimation de l'ETP peuvent altérer sensiblement les résultats de simulation. Une marge d'erreur systématique de +10 % sur ce paramètre entraîne une marge d'erreur de -5 % sur l'évaluation du rapport ETR/ETM, et de +15 % sur les déficits hydriques dus à la longueur des tours d'eau, mais n'affecte pas le stress expliqué par les désistements (Gilot, 1994 ; Gilot, sous presse).

### *Interprétation et conséquences des pratiques d'arrosage*

L'étude des stratégies et des résultats moyens montre que les pratiques sont globalement extensives : les désistements sont nombreux même lorsqu'une culture est pratiquée ; les semis sont très souvent proches de ceux des cultures pluviales.

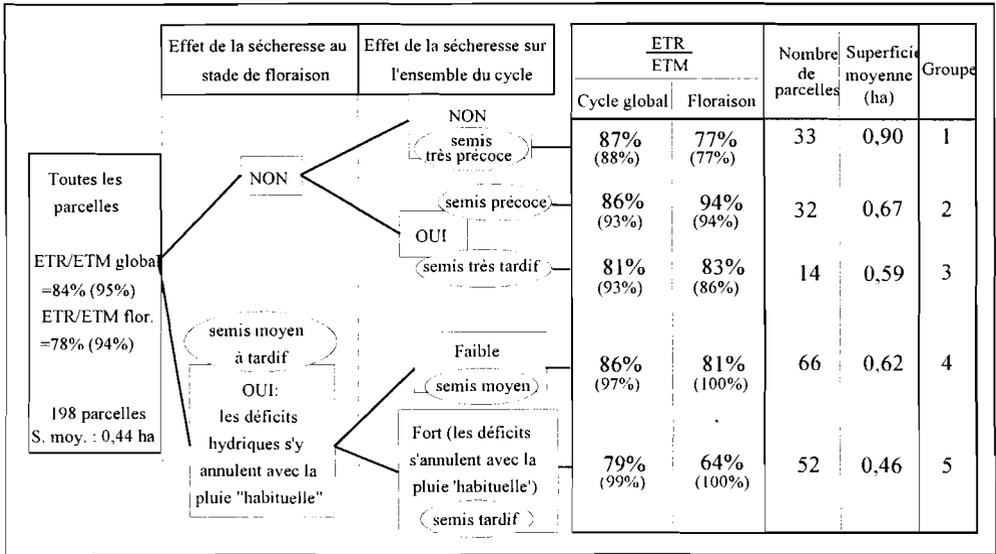


Figure 7 — Résultats de la typologie des stratégies culturales et d'irrigation et des satisfactions des besoins en eau des parcelles de maïs. On présente aussi les principales caractéristiques moyennes des différents groupes (les chiffres entre parenthèse indiquent les résultats pour les pluies « habituelles »).

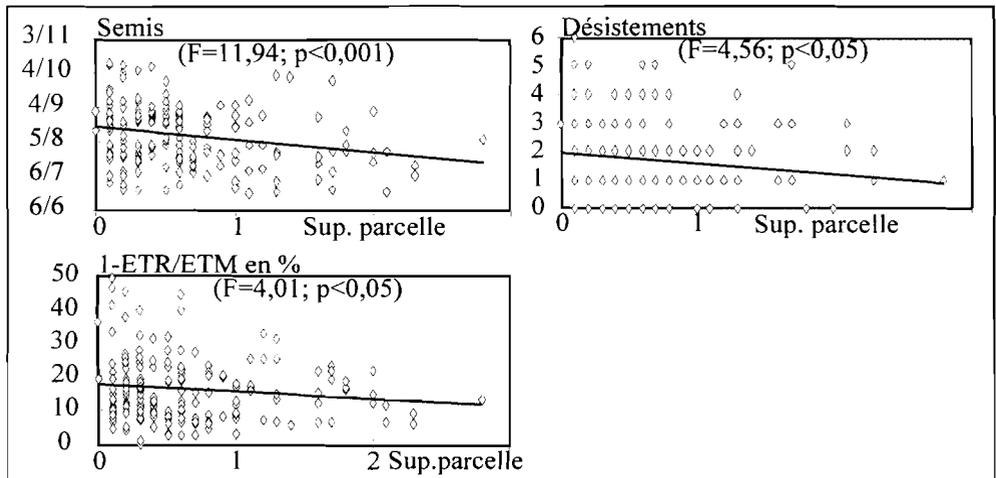


Figure 8 — Relations entre date de semis, nombre de désistements, déficits hydriques sur le cycle, et superficie de la parcelle.

On peut interpréter les désistements comme des paris sur la pluie à venir, qui permettent à l'exploitant de faire l'économie de l'arrosage. En effet, chaque irrigation mobilise une main d'oeuvre nombreuse dont le coût est important, et peut entrer en concurrence avec des activités extra-agricoles ou agricole en culture pluviale. Le caractère exceptionnellement sec de l'année d'étude a mené à l'échec de ce type de pari : on a montré que, dans le cas d'une pluviométrie plus « habituelle », les désistements n'auraient eu que très peu de conséquences, et que les parcelles cultivées de la façon la plus extensive sont aussi les plus touchées par la sécheresse. Si certains désistements semblent plus faire partie d'une stratégie que d'une adaptation à la situation en cours (beaucoup des désistements en début de période pluvieuse par exemple), il est très difficile de les resituer tous de cette façon. On est donc amené à étudier en bloc les désistements « tactiques » et les désistements « stratégiques ».

Les désistements sont d'autant plus abondants que les parcelles sont petites et donc d'autant plus que les exploitations sont plus petites (la taille des parcelles reflète significativement celle de l'exploitation). Deux hypothèses explicatives principales peuvent être proposées ; la première : le coût de l'arrosage par hectare est plus fort pour les petites exploitations que pour les grandes, puisque pour une heure d'arrosage, on mobilise autant de main-d'oeuvre que pour dix (les travailleurs sont embauchés à la journée uniquement)<sup>2</sup> ; la deuxième : les exploitants des petites parcelles ne peuvent tirer un revenu suffisant des assolements maïs précocé suivi de haricot. Ils ne peuvent pas intensifier plus puisque les rotations sont trop longues. Ils ne peuvent pas non plus augmenter la surface de leur exploitation puisqu'aucune terre n'est disponible<sup>3</sup>. Ils sont contraints à des activités extra-irriguées, qui limitent à leur tour leurs possibilités d'intervention dans la parcelle.

Les exploitants de petites parcelles cherchent donc à limiter les coûts de production, en comptant plus sur la pluie que sur les arrosages, au risque de devoir se contenter d'une récolte médiocre durant les années sèches. Dans tous les cas, ce risque est moindre pour les semis tardifs, qui utilisent mieux la saison des pluies : les petites parcelles manifestent une tendance à la production extensive d'autosubsistance, les liquidités familiales étant obtenues par le travail extérieur. On aboutit à des stratégies extensives, et à une

---

<sup>2</sup> Le prix payé pour l'eau elle-même n'a que peu d'influence : il s'agit d'un forfait à l'année, indépendant des arrosages réels, dont le montant, presque symbolique, n'est fonction que du droit d'eau.

<sup>3</sup> De plus, l'objectif d'assurer la sécurité alimentaire familiale ne permet pas que les petites parcelles soient exploitées en groupe par un métayer. L'individualisme qui règne à Urcuqui ne crée pas non plus une ambiance propice au regroupement des exploitations.

sous-consommation de l'eau. Réciproquement, disposer d'une parcelle suffisamment grande rend plus facile et plus viable la pratique d'une agriculture plus intensive. Celle-ci est d'autant plus intéressante que les tours d'eau sont fortement raccourcis du fait des désistements des usagers « extensifs », et que le risque d'attendre l'arrosage trop longtemps à une période peu pluvieuse (début de cycle) est réduit (fig. 4). Le bilan est cependant négatif : seuls 30 % des usagers se permettent une intensification relative. Le gain de plus-value qu'ils réalisent reste inférieur au manque à gagner collectif des autres usagers.

Les effets des stratégies extensives des petites parcelles (les plus nombreuses et donc les plus représentées dans l'assemblée générale) se manifestent aussi sur le long terme. Le choix de payer l'eau peu cher conduit à construire des infrastructures fragiles. Les interruptions de fonctionnement qui en découlent (soit par rupture réelle, soit par prévention) allongent sensiblement les tours d'eau. Elles peuvent induire des stress importants puisqu'une pluie forte sur le bassin versant, qui induit une surcharge du canal et donc des risques de rupture ne se répercute pas toujours sur les terres irriguées. De façon moins apparente, les infrastructures rustiques autorisent une grande variation des débits fournis aux parcelles, et donc des doses reçues, qui peuvent être insuffisantes lorsque la dotation n'est pas très supérieure au minimum théorique de 3 h/ha. C'est un des facteurs qui expliquent que beaucoup d'usagers aient choisi des dotations très fortes. Enfin, le désir de pouvoir arroser à moindre coût explique aussi ces surinscriptions. Une forte dotation diminue le coût des arrosages puisqu'on peut se permettre une moins bonne efficacité, en réduisant le nombre de personnes travaillant sur la parcelle. Les efforts consentis pour l'acquisition d'une dotation forte sont donc rémunérés par une réduction des risques de recevoir une dose insuffisante et une diminution des coûts d'arrosage.

Finalement, les stratégies extensives ont induit sur le long terme des règles de distribution qui ne permettent pas de réelle intensification (maraîchage par exemple, qui attire pourtant de nombreux agriculteurs d'Urcuqui), et qui limitent fortement les possibilités de rattraper les conséquences des paris malheureux sur la pluie à venir. Sur le court terme par contre, les agriculteurs adoptent alors des stratégies basées sur l'ensemble de leur système de production, ou, mieux, de leur système d'activités (Bory et Paul, 1993). A Urcuqui, la plupart mettent en place des pratiques extensives d'arrosage qui augmentent la disponibilité globale de l'eau, et sont le garant de la (relative) réussite des stratégies intensives des autres.

Du point de vue du gestionnaire de projet, le fonctionnement actuel est loin d'être satisfaisant. Malgré une concession suffisante, les règles de la

distribution ne permettent pas d'obtenir la sécurité de l'alimentation des cultures : des déficits sévères apparaissent nécessairement lors des années sèches. De plus, même avec les règles de distribution actuelles, la satisfaction des besoins hydriques des cultures pourrait être bien meilleure si les usagers ne se désistaient pas (tabl. 2). Enfin, les excès d'eau sont très importants, et s'ajoutent aux pertes nécessaires lors de l'application (Gilot, 1994 ; Gilot *et al.*, 1997). Du point de vue des usagers, le tour d'eau actuel n'est pas non plus satisfaisant, puisque l'eau devrait, selon eux, revenir tous les 15 jours. Les règles actuelles de la distribution s'expliquent cependant par le choix que font les usagers de réduire les coûts d'arrosage.

## Conclusion

Le fait de disposer d'un réseau d'irrigation n'exclut pas des stratégies de pari sur la pluie de la part de nombreux usagers, qui peuvent se solder par la mise en échec des cultures, comme à Urcuqui dans le cas de l'année d'étude. La réalité de la distribution de l'eau peut s'éloigner de façon significative des prédictions qu'on peut en faire. Les trois constituants d'un système d'irrigation (infrastructures, règles de la distribution, et usagers) sont en constante interaction, et le système lui-même interagit avec le contexte socio-économique local. A Urcuqui, on a mis en évidence des facteurs limitants internes au système (accès à l'eau : variabilité des débits servis et durée des rotations), et d'autres qui dépendent du contexte local : accès à la terre et à la main d'oeuvre. Le désintérêt de la majorité des usagers vis-à-vis de l'agriculture irriguée intensive qui en découle débouche à son tour sur le long terme sur un système d'irrigation inadapté à l'intensification. Sur le court terme, il est le garant de la relative réussite de la minorité d'agriculteurs qui recherchent une agriculture intensive. Le système actuel ne peut supporter qu'une intensification relative, et seulement dans la mesure où elle n'est pas généralisée.

La méthode utilisée à Urcuqui est applicable dans de nombreux contextes. Son inconvénient principal n'est pas le coût de l'acquisition des données (relativement réduit en réalité), mais le temps requis, puisqu'il faut mener le suivi pendant une année entière. Cet inconvénient est cependant mineur puisque la méthode aboutit à des propositions touchant la collectivité dans son ensemble, et des plans d'action sur plusieurs années.

## Références bibliographiques

- BORY A., PAUL J-L., 1993 –  
Approche systémique et fonctionnement de l'exploitation agricole : questions théoriques et méthodologiques pour une mise en oeuvre dans la zone Caraïbe. In : Navarro Garza H. et al. (éd.) : *Sistemas de producción y desarrollo agrícola*. Mexico, Orstom-Conacyt-CP, pp. 199-205.
- CHESEL D., DOLEDEC S. 1993 –  
*ADE version 3.6 : hypercard stacks and programme library for the analysis of environmental data*. User's manual. Villeurbanne, URA-CNRS 1451, Univ. Lyon I, 750 pages.
- 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 étude du cas d'Urcuqui*. Thèse de Doctorat en Sciences agronomiques. Montpellier, Orstom-Ensam, 355 pages.
- GILOT L., 1997 –  
Evaluating water delivery in tertiary units. Part 1 : methodology. *Agric. Water Manage*, 32 : 147-162.
- Gilot L., Ruf T., 1997 –  
*Théorie et pratique de la distribution de l'eau en zone irriguée*. Montpellier, Engref, Coll. Tech. & Doc.
- GILOT L., CALVEZ R.,  
LE GOULVEN P., RUF T., sous presse –  
Evaluating water delivery in tertiary units. Part 2 : a case study, Urcuqui, a farmermanaged irrigation system in the Andes. *Agric. Water Manage*.
- LE GOULVEN P., ALEMAN M. 1992 –  
Régionalisation climatique (pluies et ETP) dans les Andes équatoriennes. VIIIèmes journées hydrologiques «Régionalisation en hydrologie. Application au développement». Orstom, Montpellier, 22-23/09/92, 16 pages.
- ROUANET G. 1982 –  
*Le maïs*. Paris, Maisonneuve et Larose, Coll. *Le technicien de l'agronomie tropicale*, 142 pages.
- ROUX M. 1985 –  
*Algorithmes de classification*. Paris, Masson, 144 pages.
- RUF T., NUÑEZ P. 1991 –  
Enfoque histórico del riego tradicional en los Andes ecuatorianos. *Memoria (Marka, Quito)*, 2 : 185-282.
- RUF T., PROAÑO M., CARRION Y. 1994 –  
*Définition des étages agroclimatiques et des modèles de production*. Quito, Inerhi, Coll. *Irigation traditionnelle dans les Andes d'Equateur*, série E1, vol. Mira, 184 pages.
- SPEARMAN C. 1905 –  
The proof and measurement of association between two things. *Am. J. Psy.*, 15 : 72-107.
- THIOULOUSE J. 1993 –  
*MacDendro cluster analysis. User's manual*. Villeurbanne, URA-CNRS 243, Université Lyon I.