

**L'EAU ET SA GESTION DANS LA PLANIFICATION  
DE L'IRRIGATION TRADITIONNELLE DES ANDES EQUATORIENNES**

**Par**

**P. LE GOULVEN**

**T. RUF**



**L'EAU ET SA GESTION  
DANS LA PLANIFICATION  
DE L'IRRIGATION TRADITIONNELLE  
DES ANDES EQUATORIENNES**

**P. Le Goulven (\*), T. Ruf (\*\*)**

Confrontée à une demande ambitieuse des partenaires (élaboration du Plan National d'Irrigation), l'équipe ORSTOM s'est attachée avant tout à définir une thématique de recherche pluridisciplinaire correspondant à son savoir-faire, et une structure de travail qui aboutisse à des résultats utilisables dans un plan de réhabilitation.

La recherche d'indicateurs pertinents sur la gestion et l'utilisation de la ressource hydrique est menée à différentes échelles sur des terrains représentatifs, tout au long de la chaîne de mobilisation, de transport et d'utilisation de l'eau (de la micro-région à la parcelle).

Ces indicateurs sont ensuite étendus à l'ensemble des périmètres irrigués grâce à un inventaire détaillé.

L'utilisation d'espaces d'analyse soigneusement choisis tient compte des relations entre gestion de l'eau et milieu agro-socio-économique et facilite la mise au point de recommandations satisfaisantes pour tous les acteurs en présence, pour un plan d'action à court, moyen et long terme, en tenant compte des impacts prévisibles de toute intervention de l'Etat.

Les premiers résultats mettent en évidence les points faibles des systèmes traditionnels d'irrigation et contredisent parfois la politique de réhabilitation actuellement en vigueur.

\* Hydrologue, Dépt DEC, mission ORSTOM de Quito.

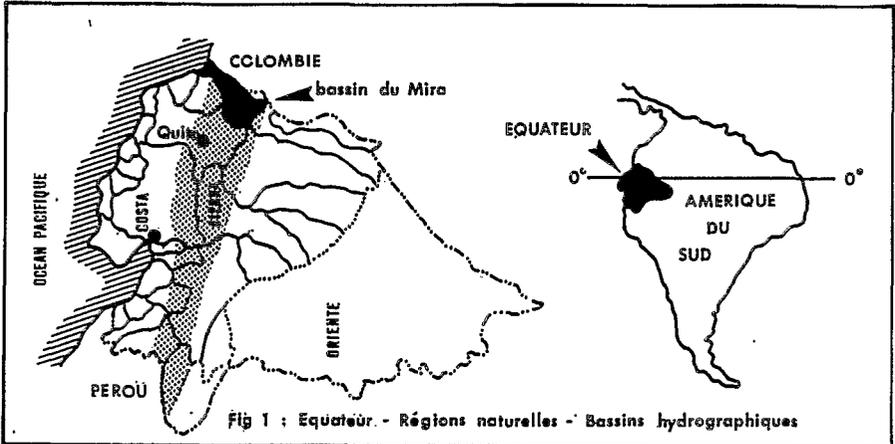
\*\* Agro-économiste, Dépt SUD, mission ORSTOM de Quito.

# 1- L'IRRIGATION EN EQUATEUR

## 1-1-Situation et caractéristiques générales du pays.

La partie continentale de la République de l'Equateur est située au Nord-Ouest du continent sud-américain, entre la Colombie et le Pérou, et s'étend depuis l'Océan Pacifique jusqu'au bassin amazonien.

La partie insulaire est formée des îles Galápagos, qui sont distribuées de part et d'autre de la ligne équatoriale à environ 1000 kms à l'ouest.



La superficie du territoire continental est d'un peu plus de 281 000 km<sup>2</sup>, répartis d'Ouest en Est en 3 grandes régions naturelles:

- La "Costa" comprend la frange littorale, dont la largeur diminue à mesure que l'on descend vers le Sud (largeur moyenne de 100 kms). Dans ses parties occidentale et nord-occidentale, s'élève une petite cordillère qui ne dépasse pas les 800 mètres d'altitude.

C'est sur cette frange qu'est situé le port de Guayaquil, première ville du pays par sa population et son dynamisme économique.

- La "Sierra" est caractérisée par l'imposante barrière montagneuse de la Cordillère des Andes dont la largeur oscille entre 100 et 140 kms. Dans sa partie nord, on distingue 2 massifs (Cordillères Occidentale et Royale) bien séparés par un couloir inter-andin d'environ 40 à 50 kms de large, et couronnés de volcans dépassant les 6000 mètres d'altitude (Cotopaxi, Chimborazo). C'est dans un de ces bassins inter-andins, à 2850 mètres d'altitude, que les espagnols établirent la capitale: Quito.

Dans le sud du pays, les cordillères perdent leur individualité et les cimes leur altitude (3500 mètres).

- L'"Oriente" est constitué par de grandes vallées alluviales souvent marécageuses, partie prenante du bassin amazonien.

Seulement le quart du pays est consacré à l'agriculture proprement dite, le reste est occupé par les forêts vierges ou les "páramos" (formation herbacée de haute montagne).

## 1-2 L'irrigation : une histoire ancienne

Les régions andines ont connu l'irrigation bien avant l'arrivée des espagnols (vers 1530), et certainement avant celle des Incas venus de Cuzco vers 1470. Ces derniers passèrent plus de temps à soumettre les populations locales qu'à entreprendre de grands travaux d'aménagement rural, durant le peu de temps qu'ils occupèrent le centre et le nord de l'Equateur.

Selon les chroniques de l'époque, au sein des communautés indigènes existait une justice de l'eau qui fut progressivement remplacée par la législation espagnole. Il n'y a cependant aucune preuve matérielle sur l'existence actuelle d'infrastructure d'irrigation incaïque ou pré-incaïque.

Avec la conquête, vint l'administration coloniale. Le dépouillement de ses archives relatives aux conflits sur l'eau montre qu'à la fin du XVIème siècle de nombreuses "acéquiás" (canaux d'irrigation) étaient en fonctionnement et suscitaient déjà d'âpres débats juridiques.

Certaines gravures d'époque font état d'acéquiás encore en fonctionnement (acéquia Caciques du village d'Urcuqui dont le tracé figure sur un plan de 1562).

Mais tout porte à croire que la plupart des systèmes actuels ont été construits entre le XVIIème et le XIXème siècle, lorsque les grands propriétaires terriens ont pu mobiliser la main d'œuvre indigène pour creuser et entretenir des canaux qui comprenaient parfois de véritables ouvrages d'art.

Aux XIXème et XXème siècles, l'irrigation s'étend dans la plaine côtière où se développent de grandes exploitations tournées vers l'exportation. Dans la Sierra, l'évolution économique et sociale va peu à peu changer la répartition foncière et par conséquent celle de l'eau.

D'un côté, les grandes haciendas commencent à se diviser entre héritiers, ce qui amène des conflits dans le partage de la ressource qui sont résolus par la construction de nouveaux canaux aux itinéraires parfois très voisins.

D'un autre côté, les groupements paysans, métis ou indigènes, réclament des droits d'eau qu'ils justifient par la part prépondérante qu'ils prennent dans la construction et l'entretien des réseaux.

Enfin, certains individus ou groupements achètent des droits d'eau sous forme variée, qu'ils revendent ou louent aux petits exploitants.

Au cours du XXème siècle, l'accroissement démographique de plus en plus fort entraîne une pression foncière qui débouchera sur la Réforme Agraire (1960-1970), et une pression non moins conséquente sur le partage de la ressource en eau, à l'origine de conflits très violents qui justifieront l'intervention de l'Etat.

## 1-3 Une intervention récente de l'Etat

Celui-ci intervient une première fois en 1936, tente de créer les premières bases juridiques pour une meilleure répartition de la ressource et commence à construire des nouveaux systèmes d'irrigation quand il les juge d'intérêt public, pour harmoniser le développement des différentes provinces.

Devant la persistance des conflits entre propriétaires de l'eau et utilisateurs, le gouvernement militaire crée en 1966 l'Institut Equatorien des Ressources Hydriques (INERHI) et nationalise l'ensemble des ressources en eau du territoire en 1972.

L'INERHI se voit attribuer un rôle d'entreprise car il étudie, construit et gère directement des infrastructures qui irriguent des superficies de 500 à 10 000 has, dont les exploitants agricoles payent une redevance qui couvre une partie des frais de gestion. Par contre, l'Institut intervient peu dans le développement agricole.

*Les systèmes relevant de ce type d'intervention représentent l'irrigation publique.*

D'autre part, l'INERHI est gestionnaire exclusif des ressources en eau. Il contrôle et attribue les concessions (renouvelables tous les 10 ans) suivant un ordre de priorité pré-établi (eau potable, agriculture, besoins industriels et énergétiques). Il légalise ainsi les droits d'eau anciennement acquis, et les rationalise en fonction des besoins. Dans ce cas, les usagers et leurs organisations sont responsables de la construction et du fonctionnement du système.

*Les périmètres concernés ( de quelques hectares à plusieurs centaines) constituent l'irrigation privée ou traditionnelle.*

Enfin, l'Institut doit évaluer et gérer les ressources hydriques nationales, et élaborer le Plan National d'Irrigation comme partie intégrante du Plan National de Développement Economique et Social du pays.

Depuis lors, l'INERHI s'est surtout intéressé à sa fonction de constructeur en créant de nouveaux aménagements qui lui coûtent très cher, et dont la rentabilité reste à démontrer, car contrairement à la logique, il ne s'intéresse que très peu au développement agricole, à l'orientation des productions et à leur commercialisation. Ces nouveaux projets ne tiennent aucun compte des infrastructures déjà existantes, et l'intervention publique apparaît comme *le dernier maillon d'une chaîne historique d'aménagements superposés*.

Cette ignorance des systèmes privés vient en grande partie de la complexité même de l'irrigation traditionnelle, constituée d'un ensemble de périmètres dispersés, dont les caractéristiques échappent aux normes couramment admises.

Les prises sont presque toujours rustiques (pierres entassées sur le bord des torrents) et difficiles d'accès. Les canaux en terre aux tracés sinueux creusés à flancs de montagne disparaissent souvent dans de longs tunnels non étayés et malgré cela peuvent transporter plus de 500 l/s. Tout au long de leur parcours, ils se croisent, s'enchevêtrent et se divisent pour irriguer plusieurs périmètres parfois distants. L'eau utilisée par gravité irrigue des parcelles dont la pente peut atteindre 100%, grâce à un système ingénieux de sillons en zig-zag.

Sans références techniques et scientifiques et sans méthodologie adéquate, l'INERHI ne pouvait qu'intervenir au coup par coup, construisant çà et là soit une prise moderne, soit un réservoir.

Le bilan actuel est donc sans surprise et les données obtenues sur le bassin du Mira (cf Fig 1) peuvent être étendues à l'ensemble des Andes. L'irrigation publique touche environ 5% des superficies irriguées, 10% reçoit l'eau des 2 systèmes et le reste (85%) dépend exclusivement de l'irrigation traditionnelle.

Or plusieurs éléments nouveaux obligent l'INERHI à reconsidérer son intervention. La plupart des sites idéaux sont déjà aménagés, et tout nouveau projet coûtera de plus en plus cher.

Malheureusement, les bénéfices pétroliers ont beaucoup baissé et l'Etat doit montrer plus de rigueur dans ses choix d'investissements, face à la crise économique qui sévit et l'endettement public qu'il faut maintenant rembourser. Les organisations internationales (FAO par exemple) favorisent la réhabilitation des systèmes existants, ce qui justifie le manque d'enthousiasme des grandes banques de développement qui renâclent devant une politique de grands projets.

Dans le même moment, l'ORSTOM et le Ministère de l'Agriculture terminaient l'inventaire des ressources naturelles renouvelables au sein du projet PRONAREG. Le département hydrologique de ce programme poussait plus loin et abordait l'inventaire de l'usage de l'eau et la détermination d'alternatives en vue de satisfaire la demande agricole, en essayant de répondre aux questions suivantes: où, combien et quand, avec quoi irriguer? (F. Pourrut, 1980).

Cette première réponse au problème de la gestion des ressources hydriques en Equateur soulevait l'attention de l'INERHI qui signait en 1986 un accord avec l'ORSTOM pour essayer enfin d'élaborer un Plan National d'Irrigation, après plusieurs tentatives, toujours infructueuses par méconnaissance de l'irrigation traditionnelle.

## 2 - LE PROJET INERHI - ORSTOM (OBJECTIFS ET METHODOLOGIE)

### 2-1 Objectifs du projet. .

Considéré comme partie intégrante du Plan National de Développement, le Plan National d'Irrigation est donc une réponse partielle à une analyse sociale et macro-économique globale.

Il doit d'abord fournir l'identification et la caractérisation d'actions techniquement intéressantes, puis proposer une sélection hiérarchisée d'interventions qui permettront aux planificateurs de tenir les objectifs qui leur ont été fixés par le Gouvernement.

Comme on peut le remarquer, la seconde phase (sélection et hiérarchisation) est extrêmement sensible aux orientations du pouvoir politique. Il n'est donc pas question que l'ORSTOM participe à cette phase, trop soumise à des facteurs stratégiques et politiques, strictement internes à l'Equateur.

Par contre, la première phase ne varie pas au gré de changements gouvernementaux si elle fondée sur des critères scientifiques et techniques indiscutables et c'est sur l'élaboration d'un outil technique de décision que l'ORSTOM et l'INERHI ont décidé de collaborer, pour mettre au point une méthodologie reposant sur des bases scientifiques qui aboutisse à des recommandations pratiques.

L'identification et la caractérisation des actions intéressantes en matière d'irrigation peuvent être considérées comme l'élaboration d'une matrice de projets comportant un grand nombre d'indicateurs variés, dans laquelle le planificateur puisera pour y faire sa sélection. On voit déjà poindre le caractère pluridisciplinaire de l'étude. Pour être complète, cette matrice devra aussi présenter des alternatives de réhabilitation ou d'extension des périmètres.

La méconnaissance de l'irrigation traditionnelle et de son fonctionnement étant admise, il est donc nécessaire d'entreprendre son étude complète, d'autant plus qu'elle échappe aux normes couramment admises. Le programme de recherche est articulé autour des grands thèmes suivants:

- travaux de terrain sur des sites représentatifs, à différentes échelles emboîtées, en tenant compte la gestion technique et socio-économique de l'eau (des prises aux parcelles en passant par les systèmes de production),
- études thématiques spécifiques: hydrologiques au sens large (incluant la climatologie, l'agro-climatologie et l'hydraulique agricole), agro-socio-économiques (techniques agricoles, systèmes de production), agrologiques (caractérisation des sols et de leur potentialité),
- un inventaire exhaustif de la localisation des systèmes concernés et une description détaillée de leurs caractéristiques.

Les résultats obtenus sont d'abord analysés de manière thématique pour découvrir les indicateurs de fonctionnement pertinents et les relier aux caractéristiques descriptives contenues dans l'inventaire. Ils font ensuite l'objet d'une analyse intégrée débouchant sur une typologie de fonctionnement à laquelle correspond toute une série de recommandations.

Cette intégration est impossible sans un découpage structuré de la zone d'étude, fondé sur l'organisation et l'utilisation de l'espace, et qui servira de support aux différents types d'analyse et de recommandations.

L'ampleur du programme dépassant largement les moyens matériels et humains mis en oeuvre, le travail est réduit au couloir inter-andin. A la fin de la convention, une zone pilote sera étudiée sur la côte pour y vérifier l'adéquation de la méthodologie proposée et procéder aux ajustements nécessaires.

Etant donné sa complexité, le projet est divisé en une série d'opérations concomitantes que nous allons décrire maintenant.

## **2-2 Un découpage adéquat de l'espace.**

Une politique de développement agricole s'appuie sur l'aménagement d'espaces caractérisés convenant aux différentes analyses (milieux physique et socio-économique), mais aussi à l'exécution des décisions. L'élaboration d'échelles emboîtées favorise l'élaboration des typologies de fonctionnement à partir des études de terrain et permet ensuite de passer à une planification d'abord régionale, puis nationale.

### **2-2-1 Le niveau national**

Les versants extérieurs de la Cordillère, l'oriental amazonien comme l'occidental pacifique, sont bien arrosés et offrent suffisamment d'eau pour satisfaire globalement tous les types de demandes. Cependant, la variabilité de la ressource dans l'espace et dans le temps induit des déséquilibres flagrants, caractérisés par une succession de sécheresses (couloir inter-andin) et d'inondations (Costa).

La région amazonienne et la partie nord de la côte reçoivent plus de 3000 mm, bien répartis tout au long de l'année, avec une légère diminution entre décembre et février. Elles n'ont aucun besoin d'irrigation, bien au contraire.

Dans le reste de la Costa, les précipitations augmentent régulièrement du littoral jusqu'au piémont (moins de 200 mm à 3000 mm). Le régime pluviométrique comprend une saison des pluies de décembre à mai et une saison sèche bien marquée le reste de l'année, pendant laquelle l'irrigation permanente est obligatoire. Dans la partie sud, vers le Pérou, on note une nette tendance à la sécheresse (Pourrut, 1986) dont il faudra tenir compte dans un processus de planification à long terme. Dédiée principalement aux cultures d'exportation, cette région est traversée par des grands fleuves qu'il faut domestiquer et son développement est surtout dépendant de la construction d'infrastructures importantes.

Enfin, la région andine subit alternativement l'influence des masses d'air océanique et amazonien qui définissent un régime à deux saisons des pluies (de février à mai et d'octobre à novembre), plus ou moins altéré par les effets d'abri provoqués par les reliefs avoisinants. Les totaux pluviométriques ne sont guère élevés (de 600 à 1500 mm) et peuvent descendre à 300 mm dans le fond des vallées bien abritées. L'irrigation complémentaire y est indispensable pour sécuriser la récolte et intensifier la production (2 cultures dans l'année). La Sierra est un milieu très varié (à tous points de vue), et en pleine évolution agricole. Les communautés indigènes ont entrepris un mouvement de grande envergure pour "supprimer" toutes les propriétés de plus de 50 hectares en 1992 (500 ans depuis la découverte de l'Amérique par Christophe Colomb).

### 2-2-2 Les grands bassins hydrographiques.

Le pays est découpé en 22 grands bassins hydrographiques, bien caractérisés par l'Institut hydrologique local (cf Fig 1), et qui constituent la base du premier découpage de l'espace.

Le couloir inter-andin est donc divisé en portions de bassins hydrographiques, portions qui contiennent tous les systèmes d'irrigation et se terminent par une station hydrométrique de bonne facture.

Satisfaisante pour l'hydrologue, cette unité spatiale lui permet d'établir un bilan hydrique global, dont dépendra la politique générale d'aménagement hydraulique, mais elle est encore trop vaste et trop hétérogène pour y mener une gestion précise de la ressource.

Elle est généralement constituée par un fond de vallée très peuplé où passe la plupart de grands voies de communications et entourée de versants sur lesquels s'est développée une agriculture très différenciée selon les étages climatiques.

Elle satisfait l'agro-socio-économiste.

Elle correspond aussi à un espace économique régional car elle contient toujours une grande ville (parfois 2) qui sert de pôle d'attraction dans les circuits de commercialisation. Bien qu'elle ne corresponde pas toujours à des limites administratives (provinces) elle comble aussi le planificateur qui pourra y définir une politique d'intervention à long terme.

Chaque unité spatiale est délimitée en fonction du réseau hydrométrique et à partir des cartes d'usage du sol élaborées par P. Gondard dans le cadre du PRONAREG. Actuellement, sont délimités 2 grands bassins tournés vers le Pacifique (Mira et Guayllabamba) et 2 tournés vers le bassin amazonien (Pastaza et Santiago). Ils correspondent aux 3/4 du couloir andin. Il reste seulement la partie sud (occupée par une irrigation de fond de vallée) à diviser.

Le passage de la phase régionale à l'ensemble national se fait en considérant les transferts hydriques entre grands bassins, qui dépendent beaucoup de l'obtention de financements internationaux.

### 2-2-3 Le bassin versant unitaire.

Chaque bassin hydrographique est divisé en bassins versants unitaires à l'intérieur desquels les paramètres explicatifs de l'aptitude au ruissellement (morphologie, caractéristiques et usage du sol) sont à peu près homogènes (Dubreuil, 1971). Ce découpage a déjà été utilisé en Equateur dans le cadre du programme PRONAREG (Cadier, Pourrut, 1979) et en Colombie (Le Goulven, 1984).

Le travail de PRONAREG est donc largement utilisé et complété par la délimitation de bassins unitaires complémentaires, pour former un maillage hydraulique complet de chaque bassin hydrographique. La limite des bassins unitaires coïncide dans la mesure du possible avec les stations hydrométriques du réseau.

Dans le bassin du Mira, 61 bassins unitaires sont constitués et leur taille moyenne est d'environ 50 km<sup>2</sup>. Ils constituent un canevas hydraulique contrôlé par 11 stations hydrométriques (cf Fig 2).

Le bassin unitaire est indispensable à l'hydrologue pour calculer les ressources en eau (espace d'apport) à l'aide de modèles déterministes globaux. Malheureusement il ne convient pas à l'analyse des demandes et ne satisfait ni l'agro-socio-économiste, ni le planificateur.

En effet, les lignes de crêtes qui séparent chaque bassin unitaire ne sont plus très marquées lorsqu'on arrive en fond de vallée. Les acéquieres passent allègrement de l'un à l'autre, soit en les contournant soit en les traversant par des tunnels, *ce qui rend impossible toute analyse basée uniquement sur cette unité spatiale.*

#### 2-2-4 la ZARI (Zone d'Analyse et Recommandations pour l'Irrigation).

Il est donc indispensable de procéder à un autre découpage des bassins hydrographiques fondé sur la délimitation de zones qui contiennent tous les processus de captation, transport et utilisation de l'eau (ZARI). En pratique, leur tracé se fait à partir des réseaux existants.

Ce sont des micro-régions séparées par des accidents topographiques suffisamment importants pour empêcher le passage des canaux traditionnels (ligne de crête très élevée, rivière encaissée). Elles ne sont traversées que par les grands systèmes (privés ou publics) qui ont bénéficié d'une aide importante pour construire des infrastructures importantes.

En pratique, leur tracé précis est effectué une fois connue la disposition de l'infrastructure existante.

Dans le bassin du Mira, elles sont 3 fois plus grandes que les bassins unitaires, et sur les 20 rencontrées, 2 n'ont pas d'irrigation significative en raison d'un climat plus favorable. Dans la plupart des cas, leurs limites empiètent sur 3 bassins versants unitaires (cf Fig 3).

Les ZARI sont caractérisées par des étages climatiques à l'intérieur desquels les systèmes de production et les structures agraires gardent une certaine homogénéité:

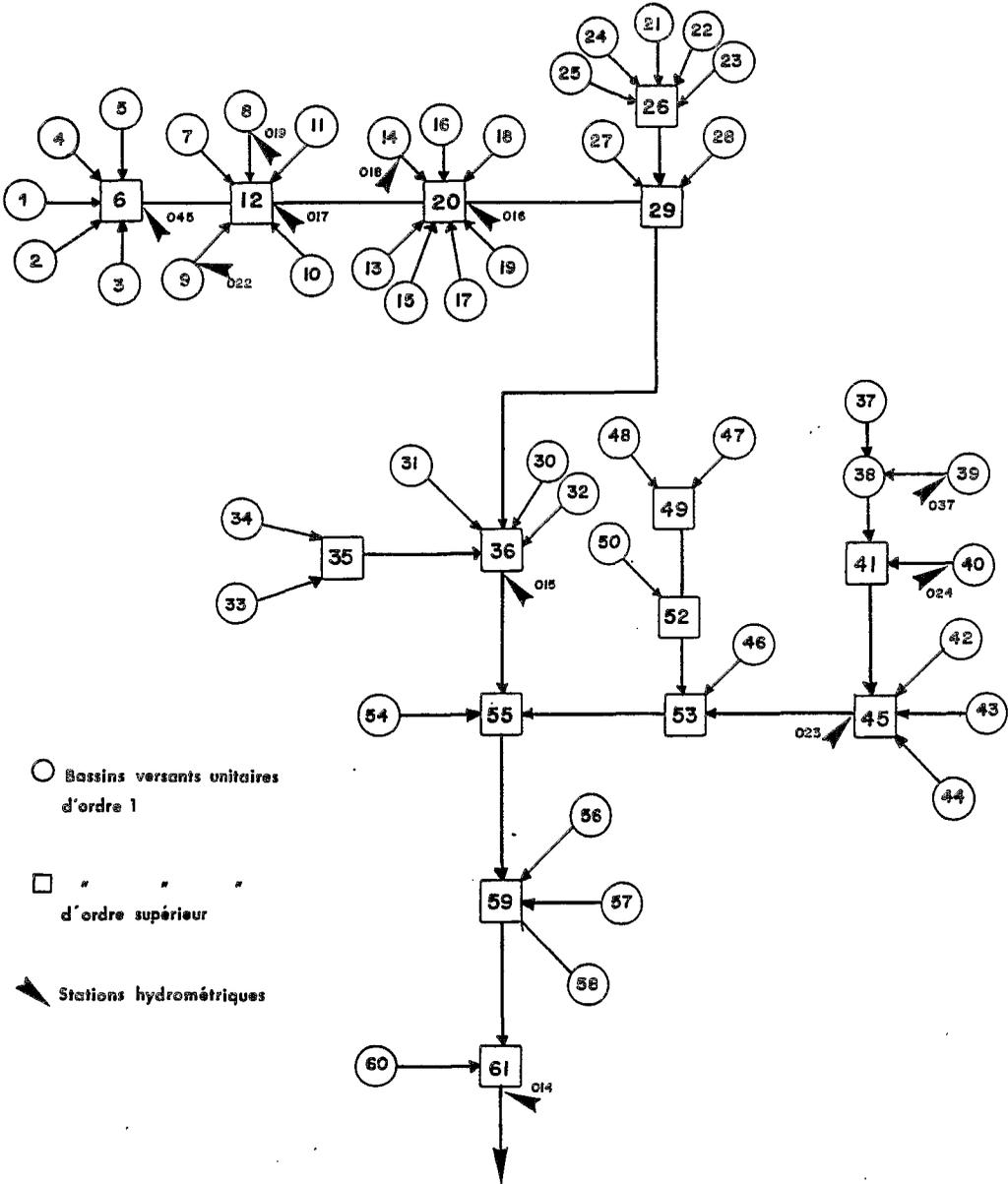
- l'étage chaud (<2200 m.) contient les grandes haciendas technifiées qui essaient de conserver leurs privilèges d'antan et produisent des cultures de rente (canne à sucre par exemple).
- l'étage tempéré (entre 2200 m et 2800 m) est très parcellisé (moins de 1 ha) et se consacre avant tout à une polyculture dominée par le maïs et le haricot.
- l'étage froid (> 2800 m) est constitué soit par de grandes exploitations de cultures extensives soit par des communautés indigènes qui essaient d'obtenir un contrôle de l'eau plus important.

À l'intérieur d'une ZARI, la disposition des canaux d'irrigation permet souvent de deviner les principales étapes d'aménagement et les grands types de problèmes qui les ont suscitées. Les usagers sont arrivés à un équilibre dans la répartition de la ressource, équilibre continuellement menacé par les revendications des populations qui s'estiment lésées. C'est donc une entité idéale pour l'analyse agro-socio-économique et pour le planificateur.

#### 2-2-5 Relation entre bassins versants unitaires et ZARI

Il est évident que la ZARI est un espace idéal pour étudier les demandes en eau puisqu'elle contient des systèmes d'irrigation complets (des prises aux parcelles) et pour estimer leurs variations en fonction des changements que ne manquera pas de provoquer toute intervention.

**Fig 2 :**  
 Division du bassin hydrographique du Mira en bassins versants unitaires. Schéma hydraulique de fonctionnement et emplacement des stations hydrométriques du réseau.



Néanmoins, pour confronter les besoins aux ressources disponibles, il est nécessaire d'établir une relation entre les espaces correspondants. Pour passer facilement d'un maillage à l'autre, les prises d'eau sont repérées par une codification ZARI (appartenance à un système) et par une codification hydrologique qui les situent dans l'architecture du réseau hydrographique (appartenance à un bassin unitaire).

Le code hydrologique est constitué par une chaîne de caractères qui décrit tous les affluents qu'il a fallu parcourir depuis l'embouchure du grand bassin hydrographique jusqu'au point du réseau hydrographique considéré. Il se termine par la distance parcourue sur le dernier affluent (pourcentage de la longueur totale de l'affluent).

Cette codification a le mérite de bien caractériser toute prise d'eau sur le réseau hydrographique et permet de calculer facilement (par comparaison des chaînes de caractères) son impact en aval ainsi que les débits réservés en amont. Par contre, elle ne tient pas compte des captations indépendantes du réseau (sources, puits) qui sont peu nombreuses.

Pour ne pas alourdir la codification, on procède d'abord à celle des bassins unitaires sur le réseau hydrographique global, qui ne dépend que du découpage de l'espace et ne sera donc pas altérée par des modifications ultérieures. Ensuite, les codes de chaque prise sont élaborés sur le réseau hydrographique interne de chaque bassin unitaire.

Ce travail s'effectue sur la cartographie de base au 1/50 000.

## 2- 3 Le terrain et ses différentes échelles d'analyse.

A partir des résultats obtenus par PRONAREG et complétés par des données sociales, un travail de synthèse a été entrepris pour établir une classification hiérarchique du milieu agricole à l'aide d'analyses factorielles des correspondances.

A l'intérieur de chaque groupe, nous avons sélectionné une ZARI représentative dans laquelle on commence par décrire les systèmes d'irrigation, leurs caractéristiques agricoles et socio-économiques (carte de synthèse détaillée au 1/25 000).

On procède ensuite à un certain nombre de mesures, de suivis et d'enquêtes, tout au long de la chaîne d'utilisation de l'eau (infrastructure, systèmes d'irrigation, périmètres, exploitations agricoles, distribution de l'eau, application à la parcelle), pour étudier l'ensemble des facteurs qui interfèrent sur la demande en eau, sa variation saisonnière et son évolution probable.

### - La captation.

Typologie descriptive des prises et des ouvrages de régulation qui leur sont associés. Etude de leur efficacité (comparaison entre débits concédés et débits dérivés) et de leur fragilité (fréquence et durée des dommages).

### - Le transport.

Calcul des efficacités de transport (ponctuelle et linéaire) par jaugeages simultanés sur des segments choisis selon leur débit, leur longueur, le type de sol, ...  
Fragilité de l'infrastructure de transport par lecture journalières d'échelles limnimétriques (fréquence, durée et causes des dommages).

### - La répartition.

Analyse des consommations journalières de certains périmètres et de leur variation au cours de l'année.

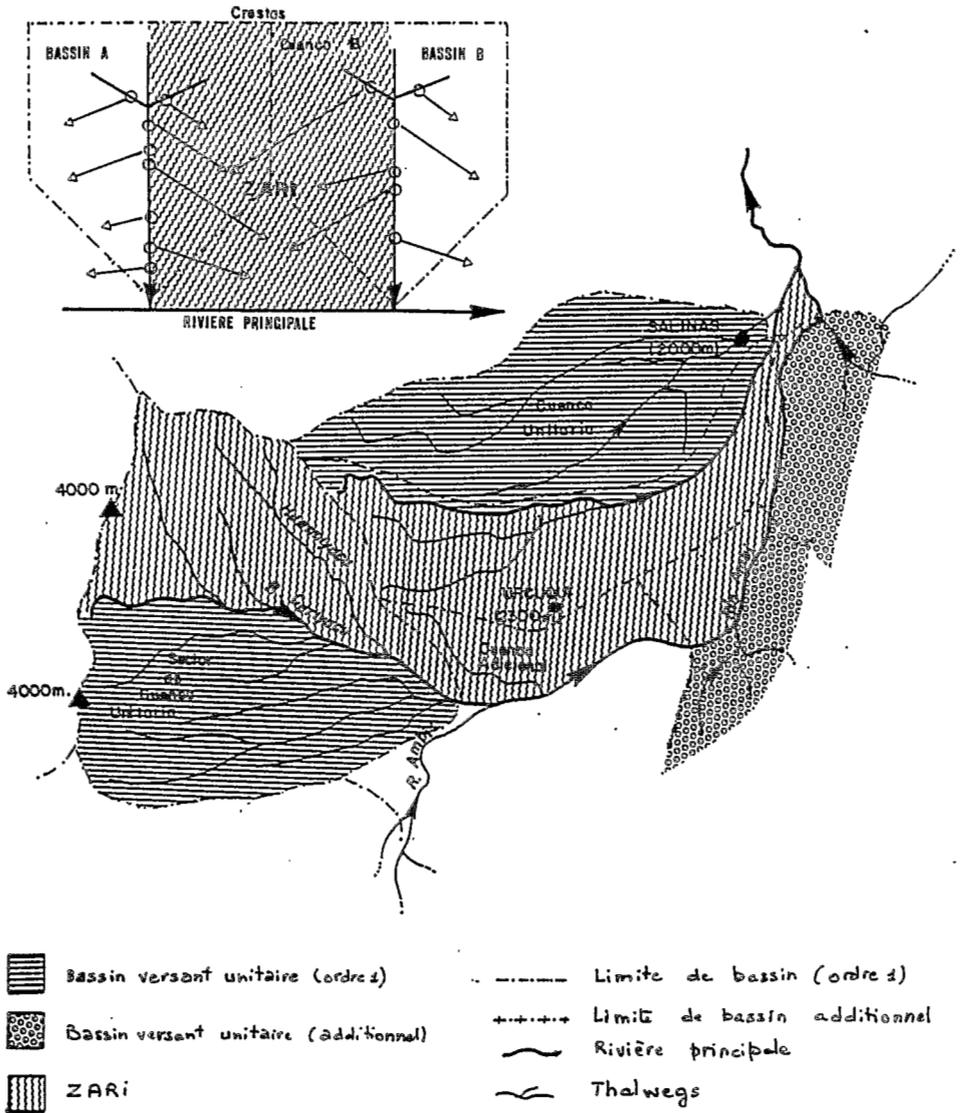
### - La distribution.

Etudes fréquentielle des indicateurs de fonctionnement (dotations à l'intérieur du périmètre, fréquences, modules et temps d'irrigation).

Enquêtes sur le manque d'eau, ses raisons supposées et ses conséquences (prises de décision sur les cultures).

Calcul des efficacités de transport des réseaux de distribution (jaugeages simultanés) et de l'efficacité globale (comparaison entre débit en tête de réseau et volumes entrant dans les parcelles durant une journée).

Fig 3 :  
Principe de délimitation d'une ZARI - Relations avec les bassins versants unitaires.  
Exemple de la ZARI d'URCUQUI (Mira).



**- Les systèmes de production.**

Analyse de leur évolution par enquêtes lourdes sur une série d'exploitations représentant la diversité de la zone.

Schématisation de leur fonctionnement, contraintes et performances obtenues.

**- Les performances agricoles.**

Evaluation des productivités de certaines cultures principales (maïs, haricot) et analyse de la diversité des résultats: mesures au champ et au laboratoire des composantes du rendement (densité, poids) et rapprochement avec les itinéraires techniques, en particulier l'irrigation.

**- L'application.**

Mise en place d'un suivi journalier de parcelles de références, conduites par les exploitants selon leurs propres décisions.

Mesure de la pluie et des entrées - sorties superficielles d'eau.

Calcul de l'efficacité hydraulique d'application par l'analyse des techniques d'irrigation, des techniques de découpage de la parcelle et de mesures d'infiltration à la raie à l'aide de PARSHALL, selon la loi de Philipps (méthodes J. L. Sabatier et CEMAGREF).

Relevé des étapes du développement végétal, des opérations culturales, du travail, des coûts et de la production finale.

Ces observations sont complétées par un dialogue continu avec les organisations paysannes compétentes (juntas de l'eau) sur leurs problèmes (maintenance des réseaux, conflits juridiques et sociaux, luttes d'influence,...) et les relations qu'ils maintiennent avec les organismes d'état (INERHI principalement).

## **2-4 Localisation, Organisation et Caractérisation de l'Irrigation.**

Cette opération a pour objectif de fournir une description détaillée de tous les systèmes d'irrigation selon le découpage en ZARI. Elle est menée à bien par 3 types d'actions:

- analyse de l'information existante à l'INERHI et ses agences régionales,
- photo-interprétation (analyse des grisés et de l'organisation des parcelles),
- enquêtes de terrain sur tous les périmètres.

Cet inventaire représente un travail énorme (mais néanmoins indispensable) qui devrait être allégé par l'utilisation future des images du satellite SPOT (en collaboration avec le BCEOM et le CEMAGREF).

Les informations sont regroupées au sein d'une banque de données (LOCIE) structurée sur DBASE IV et gérée par une trentaine de programmes. La banque est accompagnée de cartes au 1/50 000, ce qui correspond à l'échelle de travail la plus fine utilisée par PRONAREG-ORSTOM et compatible avec la résolution des images du satellite SPOT.

LOCIE regroupe le descriptif complet de l'irrigation à différents niveaux.

**- Prises d'eau.**

Situation (rivière, bassin, altitude), type de construction, caractéristiques hydrologiques (superficie, pluie moyenne et ETP moyenne de son bassin versant), existence d'une concession (débit concédé, n° de concession).

**- Périmètres.**

Caractéristiques générales (altitudes maxi et mini, superficies irriguées, équipées et potentiellement irrigables, pluviométrie et ETP)

Aspects sociaux (bénéficiaires, organisations, conflits).

Dotations (théorique, concédée, réelle)

Systèmes de production et types d'agriculture.

Caractéristiques du sol (type, profondeur, pente, RU, classe d'aptitude).

Modalités de distribution (réservoirs, irrigation de nuit, tour d'eau) et de d'application (taille des parcelles, technique d'irrigation, longueur des raies, fréquence et durée des irrigations).

**- Systèmes.**

Description des canaux reliant les diverses prises aux périmètres correspondants selon un découpage en noeuds et segments, suivant le principe des réseaux maillés urbains. Cette codification un peu lourde au départ permet de descendre le courant (conditions imposées au niveau de la demande en aval) ou de le remonter (conditions imposées au niveau de l'effluve en amont).

Type de construction des segments et des noeuds, état d'entretien des canaux, débits transités, longueurs, pentes.

**- ZARI.**

Regroupement et première synthèse des informations précédentes.

Entrées des données démographiques (population agricole concernée, densité de population, taux d'accroissement).

La masse de données obtenues représente un outil indispensable pour une connaissance parfaite du problème, et qui alimente les diagnostics au niveau des systèmes d'irrigation (planification à court terme), des ZARI (planification à moyen terme), ou des bassins hydrographiques (planification à long terme).

**QUELQUES DONNEES SUR LE BASSIN DU MIRA**

1 - Superficie du bassin :	350 000	has
2 - Superficie agricole :	139 200	has (40% de 1)
3 - Superficie équipée :	47 100	has (34% de 2, 13% de 1)
4 - Superficie irriguée :	35 200	has (75%, 25%, 10%)
5 - Superficie irriguée par traditionnel :	87%	(de 4)
6 - Superficie irriguée par public :	4%	(de 4)
7 - Superficie irriguée par les deux :	9%	(de 4)
8 - Population agricole concernée :	175 000	personnes
9 - Densité agricole :	120	habitants/km <sup>2</sup>
10 - Taux d'accroissement :		0,8
11 - Nombre de périmètres :	247	
12 - Grandes propriétés :	46%	(de 4)
13 - Moyennes propriétés :	22%	(de 4)
14 - Petites propriétés :	32%	(de 4)
15 - Débit total dérivé :	18,6	m <sup>3</sup> /s
16 - Débit total concédé :	14,4	m <sup>3</sup> /s (77% de 15)
17 - Nombre de prises :	299	
18 - Nombre de prises avec concession :	187	(63% de 17)
19 - Nombre de prises "modernes" :	19	(6% de 17)
20 - Nombre de prises sans débit réservé en amont :	133	(44% de 17)
21 - Nombre de systèmes :	268	
22 - Nombre de systèmes complexes :	54	(20% de 21)
23 - longueur totale des canaux :	1170	kms
24 - longueur de canaux revêtus :	6	kms
25 - Ouvrages de répartition :	108	
26 - Débit fictif continu moyen :	0,4	l/s

## 2-5 Le point de vue de l'agro-économiste.

Les données sur l'agriculture irriguée des andes équatoriennes (systèmes de production, productivité) sont quasi inexistantes car les statistiques nationales ne différencient pas les périmètres irrigués des cultures pluviales.

Face à ce manque d'information, il est apparu nécessaire de restructurer les enquêtes du Service National de Statistiques Agricoles (SEAN) en fonction des connaissances acquises par le projet INERHI-ORSTOM sur les réseaux d'irrigation.

Pour les années 1987 et 1988, les données d'enquêtes (superficie, irrigation, fertilisation, pertes, production) ont été saisies sur respectivement 3600 et 4500 parcelles du bassin du Mira. Elles décrivent les assolements de 50 à 60 segments représentatifs pour chacune des années.

En tenant compte des connaissances acquises sur les ZARI pilotes et des enquêtes de l'inventaire, il est possible de décrire l'ensemble des modèles de production:

- pôle d'activité dominant dans un étage bio-climatique donné pour chaque type d'exploitation.
- combinaison précise des activités agricoles annuelles.
- productivités.

Chaque activité s'inscrit dans le calendrier agricole pour estimer, mois par mois, les coefficients culturaux correspondants (Kc). En l'absence de références andines, on se fonde sur les normes de la FAO, sachant que la demande en eau est moindre dans la plupart des cas, car la population végétale et sa croissance sont inférieures à celles qui ont prévalu pour l'établissement des normes internationales.

Au niveau du modèle de production, une intégration de la demande en eau est réalisée par la pondération des coefficients culturaux.

La productivité fait l'objet d'une analyse de sa diversité pour chacune des cultures principales (maïs, haricot, blé, orge, pomme de terre, canne à sucre, prairies) dans le but avoué de mesurer l'impact d'un programme de réhabilitation, en prenant comme référence les productivités réalistes obtenues par les agriculteurs placés dans des conditions optimum d'irrigation.

## 2-6 Le point de vue de l'hydrologue.

Tous les travaux précédents contribuent à obtenir une bonne connaissance des consommations actuelles en eau et des facteurs qui influent sur la demande. Il reste maintenant à quantifier cette demande ainsi que la ressource disponible pour la satisfaire.

Les besoins en eau de l'agriculture sont extrêmement dispersés dans l'espace et très variés selon les régimes climatiques et les étages d'altitude dans lesquels ils se trouvent.

Leur calcul au pas de temps décennaire serait intéressant du point de vue agronomique, mais pour des raisons évidentes de manipulation de données, le pas de temps choisi est le mois, ce qui est parfaitement compatible avec une étude de planification.

La diversité des situations rencontrées nécessite donc une bonne connaissance spatiale des caractéristiques climatiques, qui interviennent aussi bien dans le calcul des demandes que dans celui des ressources.

### - Etude climatique préliminaire.

Elle est réalisée au pas de temps mensuel sur la totalité de la Costa et de la Sierra, en collaboration avec l'Ecole Polytechnique Nationale (EPN) et l'Institut National de Météorologie et d'Hydrologie (INAMHI).

Elle concerne la pluie et l'Évapotranspiration Potentielle (Température, Humidité Relative, Insolation, Vent, Evaporation du bac) qui sont les 2 facteurs essentiels du calcul des besoins en eau, et servent de données d'entrée à la plupart des modèles de transformation pluie- débit.

Le calcul des ressources exige des séries climatiques moyennes sur un bassin, l'étude des besoins (au niveau de précision de l'inventaire) est encore plus exigeante et nécessite les mêmes séries, mais sur chaque périmètre.

*L'objectif de l'étude climatique est donc de générer, en tout point de l'espace étudié, des séries chronologiques homogènes, statistiquement probables et représentatives du régime climatique local.*

Le problème se complique en raison d'un réseau climatique irrégulièrement réparti et non homogénéisé, et d'un relief fortement contrasté.

Les données mensuelles de plus de 800 stations ont été collectées et homogénéisées par la méthode du vecteur régional.

L'ETP est calculée par 7 méthodes différentes qui sont comparées aux mesures des bacs d'évaporation (corrélations mensuelles et dérives altitudinales) pour estimer la formule la mieux adaptée à chaque région.

Les variations avec l'altitude sont établies par petites vallées, en tenant compte de l'interaction des masses d'air locales (Fig 4).

Les stations sont ensuite regroupées toujours par la méthode du vecteur régional selon des critères de similitude (coefficients de corrélations entre stations et vecteurs supérieurs à 0.9).

Le produit final comprend:

- une carte au 1/200 000 comprenant les isohyètes et les isoplètes, ainsi que les zones d'influence des vecteurs correspondants.
- les données mensuelles et annuelles de chaque vecteur sur une période de 20 ans.

En un point de l'espace donné, les isolignes indiquent la valeur moyenne interannuelle du paramètre étudié sur laquelle s'ajuste le vecteur correspondant pour générer une série chronologique adéquate.

Les résultats obtenus permettent également une critique du réseau, du point de vue spatial et altitudinal.

L'algorithme de calcul des vecteurs est celui développé par Y. Brunet-Moret en 1978, autour duquel ont été développés un grand nombre de programmes, rassemblés dans un logiciel adapté (CLIMAN), écrit en Fortran sur la base de menus déroulants.

#### **- Les besoins**

Ils sont d'abord établis au niveau de chaque périmètre selon les données climatiques, les caractéristiques physiques et agricoles contenues dans la banque de données LOCIE, les mesures d'efficience (distribution et application) réalisées dans les ZARI pilotes et la schématisation des modèles de production échafaudés par l'analyse agro-économique.

Toutes les données sont intégrées dans 2 logiciels du commerce (CROPWAT de la FAO et DEMOP du CIDIAT), mais des modifications sont encore nécessaires pour relier les divers fichiers entre eux et obtenir un calcul automatique.

Les besoins sont ensuite ramenés au niveau des prises grâce à la codification précise des réseaux de transport et aux calculs d'efficience de transport effectués sur l'ensemble du bassin hydrographique.

Ils peuvent être ensuite regroupés soit au niveau des ZARI, soit à celui des bassins versants unitaires.

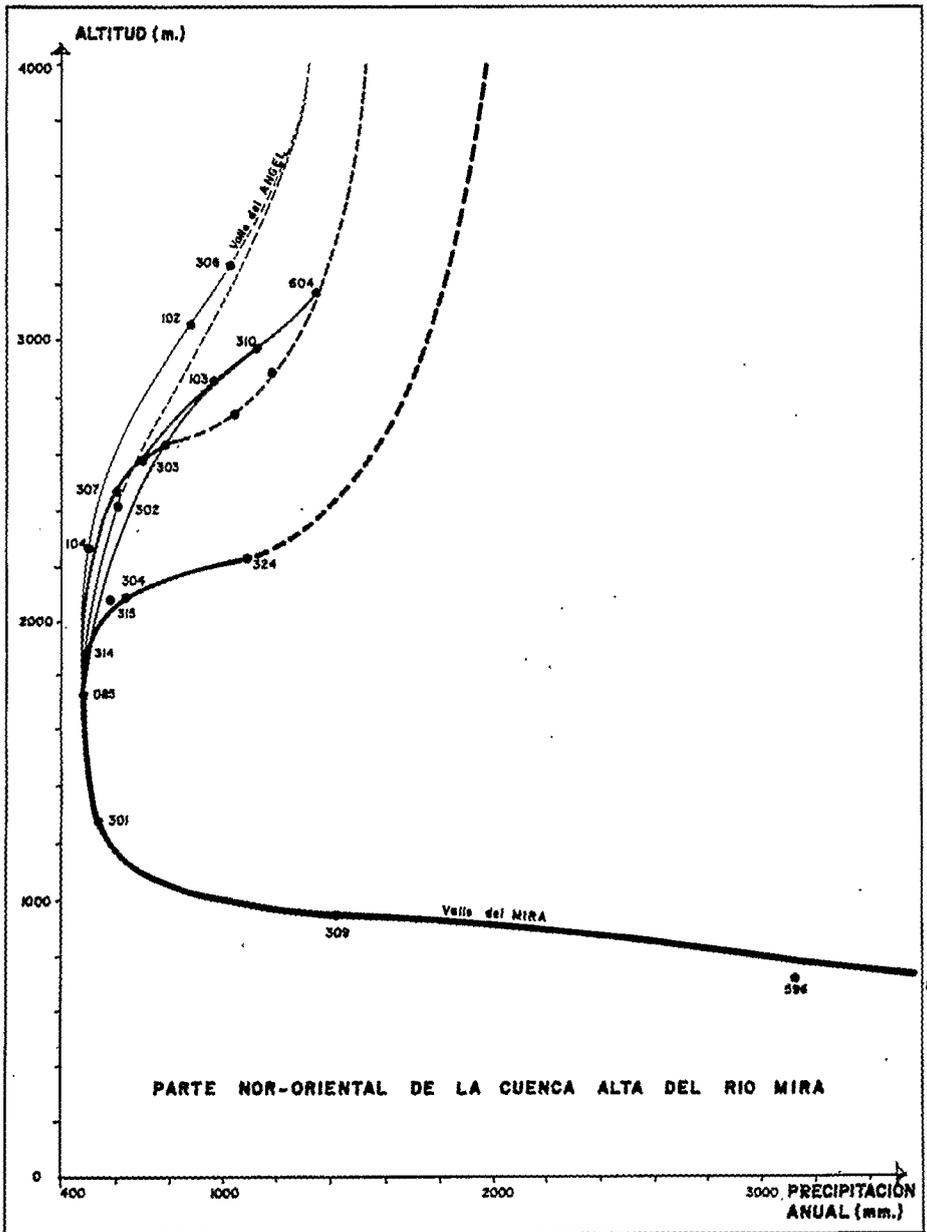
#### **- Les ressources.**

Actuellement, on utilise les résultats obtenus par l'ORSTOM (PRONAREG) sur les débits spécifiques moyens et d'étiage par bassins versants unitaires, mais si ces résultats constituaient à leur époque une référence indéniable, ils pèchent aujourd'hui par leur vétusté et leur manque de précision et rendent obligatoire l'adaptation d'un modèle de transformation pluie-débit calé sur les stations de contrôle du réseau hydrométrique.

Il fallait donc avant tout reconstituer les débits naturels de ces stations (on mesure à la station de contrôle du Mira un débit moyen de 35 m<sup>3</sup>/s qui ne tient pas compte des 19 m<sup>3</sup>/s utilisés en amont).

Tous les usages agricoles sont répertoriés par l'inventaire (LOCIE) et la variation saisonnière des débits dérivés est déterminée par les études menées sur les ZARI pilotes.

Fig 4 :  
 Relations entre pluie et altitude dans les différentes vallées du bassin du Mira.



De cette manière, les écoulements naturels d'une quinzaine de bassins versants unitaires d'ordre 1 (sans apports superficiels) ont été reconstitués. Ces bassins serviront d'échantillon pour tester 2 modèles aux pas de temps mensuel (THEMEZ et CIDIAT) qui utilisent la pluie et l'ETP comme données d'entrée, et les caractéristiques physiques des bassins versants comme paramètres de calibration des fonctions de production. Ces modèles classiques à réservoir sont robustes et correspondent bien aux données que nous possédons.

Ils seront calés sur le maillage hydraulique réalisé sur chaque grand bassin hydrographique (Fig 2).

Une fois calculé les débits naturels sur chaque bassin versant unitaires, il est facile d'estimer la ressource disponible grâce à la codification hydrologique des prises.

Ce premier ajustement sera complété par une évaluation des ressources à l'intérieur de chaque bassin unitaire en fonction des grands étages climatiques.

## 2-7 Diagnostics et recommandations.

Un premier diagnostic entre besoins et ressources est effectué sur les 3 étages climatiques définis. Combiné avec les résultats obtenus dans les autres études, il permet d'élaborer des recommandations pratiques au niveau des systèmes d'irrigation et fournit à l'INERHI un plan d'actions à court terme.

L'analyse au niveau bassins unitaires - ZARI débouche sur une typologie des ZARI qui oriente le planificateur vers une réorganisation de l'espace (planification à moyen terme) pour utiliser au mieux la ressource hydrique selon sa répartition spatiale (regroupement des prises et des canaux, redistribution des périmètres qu'ils alimentent).

Enfin, les recommandations au niveau des grands bassins (planification à long terme) définissent les lignes générales d'une politique d'intervention (réhabilitation des réseaux existants ou leur extension, construction de nouveaux projets).

Toutes ces recommandations auront un impact sur l'intensification des cultures, l'évolution des systèmes de production, la demande en eau et sa gestion. L'idée d'évaluer les effets combinés des actions prescrites par un modèle de simulation revient à Jean Luc Sabatier (CIRAD) qui connaissait le potentiel du logiciel américain GAMS, créé par des chercheurs de l'Université du Texas et des experts de la Banque Mondiale. La méthode employée résulte donc d'une collaboration étroite avec notre partenaire du CIRAD.

Afin de simuler l'impact de l'irrigation sur l'économie agricole d'une ZARI, on construit un modèle macro-économique qui décrit les activités suivantes:

- productions consommatrices d'intrants et fournissant les produits de base.
- consommation de la population.
- transfert de travail.
- échanges, achats et ventes de produits.
- travail externe à l'agriculture.
- irrigation.
- bilans hydriques, satisfaction des besoins alimentaires, bilans d'échange de travail,...etc.
- coûts et les prix unitaires.

A partir de bornes fixées a priori (population, superficies agricoles, disponibilités en eau) et de règles plus ou moins contraignantes (équations strictes ou respect d'inégalités), le modèle recherche la combinaison d'activités qui maximise le revenu net agricole de la population, en lui assurant une nourriture convenable. Il quantifie:

- l'assolement,
- les achats,
- les ventes,
- la consommation,
- le travail,
- les besoins en eau.

Une fois calibré sur la base de coefficients techniques issus des études de terrain, le modèle est utilisé pour simuler les effets induits par les recommandations selon les trois cas de figure suivants:

- Aucune intervention sur les réseaux traditionnels (dégradation des réseaux).
- Intervention partielle seulement sur les dotations en eau et l'amélioration des infrastructures.
- Intervention globale (dotations, canaux, intensification agricole, prêts et subventions, circuits de commercialisation,.....).

Actuellement, deux modèles sont en phase de calibration: celui de la ZARI d'Urcuqui ( simulation d'une crise sur l'eau et la force de travail) et celui de Ludo (simulation de l'impact d'un projet d'irrigation nouveau sur un terroir essentiellement pluvial, situé au sud des Andes équatoriennes) en collaboration avec une ONG franco-équatorienne.

### 3 - QUELQUES RESULTATS SUR LE FONCTIONNEMENT DES RESEAUX TRADITIONNELS.

On abordera la description des principales caractéristiques de fonctionnement selon les différentes échelles d'intervention (Fig 5).

#### 3 -1 Niveau de l'offre

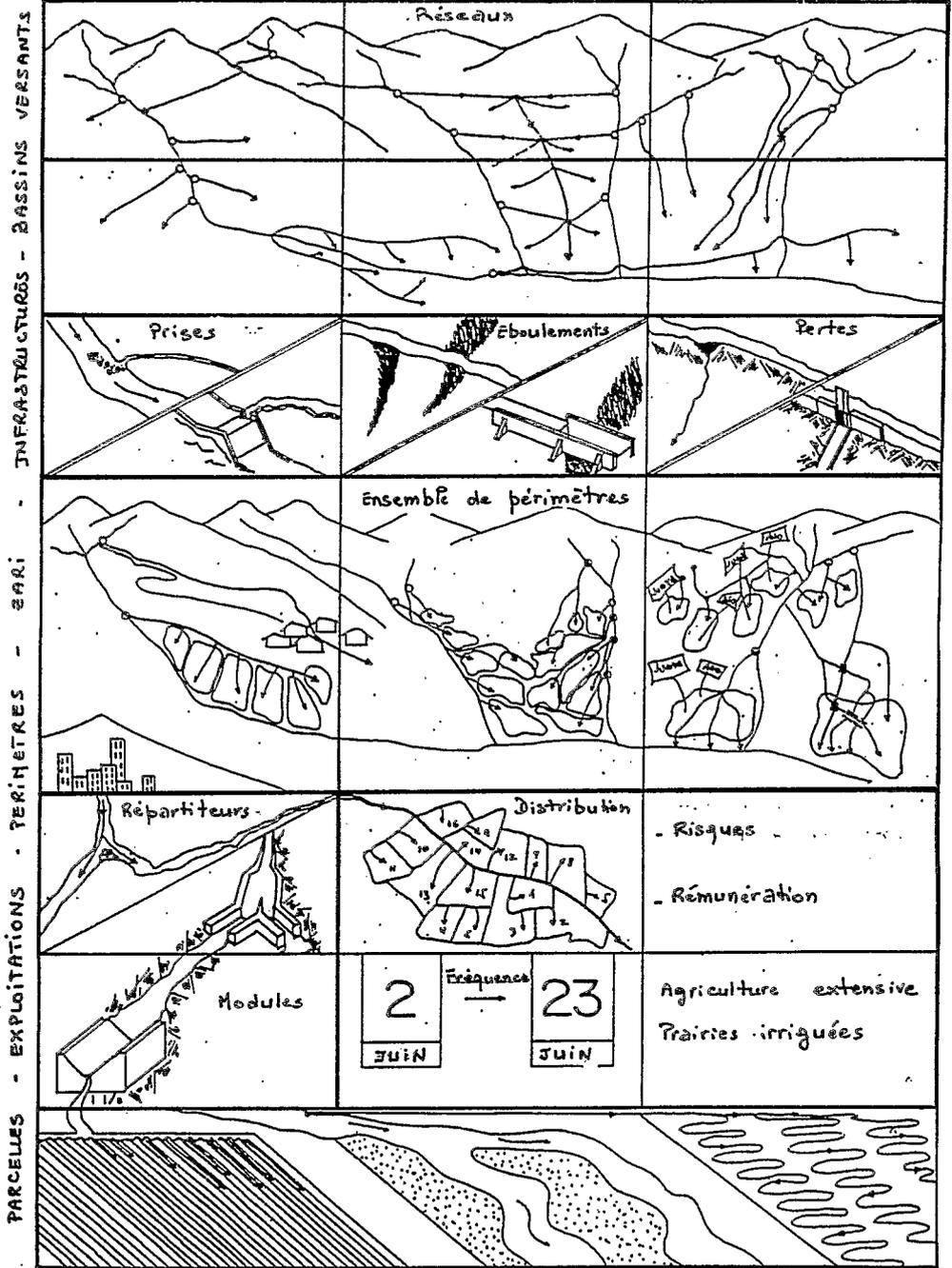
Selon les premiers bilans établis, la plupart des bassins versants unitaires ont, au niveau global, suffisamment d'eau pour répondre aux divers besoins. Cela n'est plus vrai au niveau des prises pour les raisons suivantes.

- L'altitude de certains périmètres ne permet pas de prendre l'eau sur un bassin suffisamment important.
- Les débits disponibles sont mal appréciés. Un seul jaugeage est effectué avant de fixer le débit de concession. Il n'est pas toujours réalisé au moment le plus propice et surestime souvent les débits d'étiage. Dans ce cas, il est difficile d'envisager la construction de barrages collinaires étant donné les fortes pentes. Par contre, un transfert des bassins voisins est à étudier.
- Le débit est important, mais inaccessible car les gorges sont trop encaissées. C'est un cas de figure où l'INERHI peut intervenir utilement.
- Non respect des concessions par les usagers situés en amont. Il donne lieu à des conflits juridiques sans fin qui peuvent dégénérer en "guerre des prises". C'est pour éviter ce genre de problème que beaucoup d'haciendas de fond de vallée ont installé leurs ouvrages de captation dans la partie supérieure des bassins. Un meilleur respect des règles serait obtenu s'il existait des ouvrages de régulation corrects après chaque prise, qui permettent une vérification rapide des débits détournés.

#### 3- 2 Niveau de l'infrastructure

Dans le bassin du Mira, 95% des prises sont traditionnelles, c'est à dire un amas de pierres assemblées sur le bord de la rivière. Elles sont régulièrement emportées lors des grosses crues mais très rapidement reconstruites (1/2 journée suffit). La destruction des prises ne serait responsable que d'environ 5 jours d'arrêt de fonctionnement des réseaux sur l'année.

Fig 5 :  
Schématisation de la collecte, du transport et de l'utilisation de l'eau dans une ZARI



Etant donné la vitesse des courants, les prises modernes qui barrent complètement la rivière sont imposantes; il n'est pas rare de voir plusieurs tonnes de béton pour un débit dérivé de seulement 30 à 40 l/s. Elles ne résistent toujours aux plus fortes crues, et en cas de dommage les usagers n'ont pas les moyens financiers de la reconstruire et reviennent donc à une prise traditionnelle en espérant une intervention de l'INERHI.

Par contre, les prises traditionnelles ne contrôlent pas les débits qu'elles dérivent et ont besoin d'un bon ouvrage de régulation en aval qui empêchent les surcharges d'eau dans les canaux. Malheureusement, ou cet ouvrage n'existe pas, ou il est extrêmement rudimentaire (branches d'arbre) et fonctionne mal. L'eau peut donc rentrer en excès dans les canaux de transport et provoque inévitablement des éboulements.

Comme dans beaucoup de cas les canaux se suivent en parallèle, l'eau qui dévale de la première acéquia vient détruire la seconde, et ainsi de suite. En moyenne, les éboulements provoquent plus d'1 mois d'interruption de service par an et constituent un risque non négligeable pour les cultures. De bons ouvrages de régulation (déversoir latéral bien dimensionné) permettraient d'éviter ce genre de problème.

Le transport de l'eau dans des canaux en terre est souvent l'objet des principales critiques vis à vis des réseaux traditionnels: l'efficacité y serait faible. En conséquence, la réhabilitation, lorsqu'elle est envisagée, porte sur le revêtement en béton des acéquias. Sachant que dans le seul bassin du Mira, il existe 1200 kms de canaux, on peut estimer que dans la Sierra on approchera les 10 000 kms. On voit que l'INERHI s'était attelé à un véritable travail de titan !

Heureusement, les mesures effectuées dans tout le bassin démontrent le contraire: les efficacités linéaires de transport se situent entre 95% et 110%. Ces mesures sont confirmées par l'absence de corrélation entre longueurs de transport et débits transportés.

Ce qui ne veut pas dire que les canaux en terre ne perdent pas d'eau, la végétation qui les entoure et les signale dans le paysage démontre le contraire. Seulement ils jouent le rôle de canaux de drainage et récupèrent une bonne partie des écoulements sub-superficiels en provenance des páramos. Une légère corrélation existe entre efficacité et altitude des canaux, mais elle demande à être confirmée sur d'autres bassins.

L'ancienneté des canaux en terre montre qu'ils n'ont pas besoin d'un revêtement en béton pour résister à l'usure du temps. Il faut donc abandonner ce type d'intervention et plutôt renforcer les points faibles (très ponctuels).

### 3-3 Equité de la répartition.

Si on se réfère à la situation du bassin du Mira, les dotations en eau font apparaître de grandes variations, allant de 0.1 à 2 l/s/ha. Bien entendu, l'analyse de cet indicateur doit se faire en fonction de l'étage bio-climatique. Alors le jugement sur l'équité de la dotation générale entre périmètres prend un sens.

	faible dotation	dotation moyenne	forte dotation
Etage froid 2700-3300m	1500 ha 0.1 l/s/ha	2200 ha 0.25 l/s/ha	2100 ha 0.4 l/s/ha
Etage tempéré 2200-2700m	5000 ha 0.2 l/s/ha	5200 ha 0.45 l/s/ha	3800 ha 0.7 l/s/ha
Etage chaud 1500-2200m	3000 ha 0.3 l/s/ha	2900 ha 0.6 l/s/ha	3100 ha 1.0 l/s/ha

Débits fictifs continus observés sur environ 200 périmètres du MIRA

En moyenne, sur chaque étage, les différences vont du simple au triple. Cette inégalité en dotation peut s'expliquer par le fait qu'un certain nombre d'usagers cherchent à surdoier (dans les concessions) leurs secteurs de manière à sécuriser l'approvisionnement en cas de forte baisse du débit disponible. Par ailleurs, une situation excédentaire en dotation permet une marge de manoeuvre confortable dans l'utilisation: on peut pratiquer des irrigations approximatives sans effort d'aménagement à la parcelle et avec un minimum de travail, c'est à dire à moindre coût.

L'inégalité en dotation ne recouvre pas exactement l'inégalité foncière, au demeurant primordiale dans les problèmes agraires du pays. Certains secteurs paysans ont réussi à s'approprier l'eau d'irrigation en quantité globalement satisfaisante, parfois au prix de luttes difficiles et longues comme à Urcuqui (Bassin du Mira).

D'une manière générale, le processus historique de constitution des réseaux d'irrigation a abouti à ces inégalités, secteurs sans eau, secteurs avec faible apport, secteurs avec dotation moyenne, et secteurs bien dotés. L'INERHI n'a pas su les modifier à travers le système des concessions publiques.

### 3-4 La distribution de l'eau à l'intérieur des périmètres.

Les variables du tour d'eau prennent toutes les valeurs possibles selon les sites: présence ou absence de tour d'eau organisé, modules de distribution allant de 1 litre/seconde à 50 litres/seconde, temps d'irrigation à l'hectare de 2 heures à 48 heures, fréquence de 3 jours à 30 jours, répartition par horaires fixes ou variables, etc.

Là encore, l'élément historique est fondamental. Le tour d'eau est l'héritage du choix des générations précédentes d'usagers, fondé sur les nécessités de l'époque de sa conception et sur des règles sociales en vigueur.

Or, les conditions de l'environnement socio-économique et probablement celles du climat ont évolué, de même que les systèmes de production agricole. Dans beaucoup de cas, le tour d'eau se révèle aujourd'hui inadapté.

Parfois, il a été modifié pour répondre aux besoins exprimés par un groupe de paysans capable de faire accepter les modifications par l'ensemble des usagers. C'est le cas de PIMAMPIRO où l'on a adopté un tour d'eau à fréquence très courte de 3,5 jours afin de développer des cultures maraîchères spéculatives (tour d'eau élaboré avec l'appui d'un ingénieur de l'INERHI au moment de la concession officielle).

Mais ailleurs, les inerties jouent, les différences d'intérêt paralysent toute velléité de changement, ou bien plus simplement, la complexité du problème empêche les dirigeants successifs des juntas de l'eau de poser le problème de l'adaptation.

L'absence de tour d'eau entraîne une répartition inégale de l'eau entre les usagers d'amont en aval. Si la ressource est excédentaire, le problème n'est pas majeur car l'eau parvient toujours aux derniers usagers. Dans le cas contraire, les tensions apparaissent.

Dans le cas de réseaux dits "communaux", souvent très anciens, c'est la pression sur la ressource eau qui amène les usagers à organiser un tour d'eau (fin du XIXe siècle jusqu'au milieu du XXe siècle dans la majorité des cas). C'est donc, en Equateur, un phénomène assez récent, qui correspond à la forte poussée démographique et à l'évolution de la propriété agricole.

La région la plus précoce dans l'appropriation paysanne de la terre et l'organisation des associations d'irrigants est la province du Tungurahua située à 150 kilomètres au sud de Quito. Cette région est aujourd'hui la plus dense des Andes avec environ 500 habitants au kilomètre carré agricole.

Dans le cas de réseaux dits "eaux achetées" (aguas compradas), les associations se sont constituées au moment de la construction des canaux. Leurs membres ont acheté des parts qui leurs confèrent par la suite un droit d'eau précis et inaliénable. La répartition de l'eau entre les paysans s'est faite sur une norme proposée pour tous: un module, un temps d'irrigation par hectare, et une fréquence (les trois choses étant liées). Le choix correspondait aux besoins des systèmes de production de l'époque. Ceux-ci ont évolué et se sont intensifiés, donc la tension sur l'eau s'est accrue, particulièrement en saison sèche.

Les fréquences longues (suffisantes pour compléter les cultures pluviales) sont un frein à l'intensification des cultures annuelles en été. Les modules trop faibles ne permettent pas d'irriguer correctement les prairies. Les aygadiers doivent faire face à des dérèglements et des conflits qu'ils tentent d'arbitrer au jour le jour.

L'augmentation des irrigants entraîne une microparcélisation forcée. Dans certaines régions (Tungurahua), le tour d'eau se fait sous contrôle d'un chronomètre à la demi-minute près. Dans de telles conditions, qu'advient-il de ces systèmes en l'an 2000 ?

Reste à examiner si la répartition de l'eau est équitable, c'est à dire proportionnelle aux superficies cultivées. On peut en douter dans les cas des systèmes d' "eaux achetées", dans la mesure où les premiers irrigants achetèrent des parts financières. Dans les réseaux communaux, il règne également une certaine inégalité, bien que les différences soient limitées (du simple au double ou au triple).

Ces différences s'expliquent bien par les objectifs initiaux des ayant-droit: s'ils voulaient simplement assurer un apport de complément à leurs cultures pluviales, ils ne prenaient que le minimum d'heures. Si au contraire ils avaient pour stratégie une mise en culture en saison sèche, ils argumentaient un besoin supérieur qu'ils justifiaient par la présence d'une famille nombreuse et de fils capables de réaliser avec leurs parents cette intensification.

Une fois enregistrés, les droits se sont transmis aux héritiers avec la terre, et leur remise en cause, si elle est théoriquement possible, mettrait en péril le fragile consensus existant.

Curieusement, le double besoin d'irrigation (complément des pluies pendant l'hiver, besoin des plantes pendant l'été) n'a jamais donné lieu à une alternance de tour d'eau adapté à chaque situation.

Enfin, il faut noter la faible efficacité des réseaux de distribution liée d'une part à longueur des canaux et d'autre part à l'utilisation de répartiteurs constitués par de simples mottes de terre ("chambas") qui ne permettent pas une bonne maîtrise de la répartition.

Les pertes en eau sont considérables quand il n'existe pas de réservoirs pour stocker l'eau la nuit.

### 3-5 L'application à la parcelle.

Les dispositifs d'épandage de l'eau sont généralement gravitaires. Seules quelques haciendas modernisées ont adopté la technique par aspersion.

Les dispositifs gravitaires vont du plus élémentaire au plus élaboré: déversement du module dans la parcelle sans aucun aménagement pour le disperser, ou création de sillons en zig-zag dans les champs en forte pente. Les sols très sableux ont des réserves utiles faibles (30-50 mm par mètre) et une grande porosité qui rendent l'irrigation difficile à mener. La dose apportée par les paysans est souvent bien supérieure à ce que peut stocker le sol et prélever les plantes.

Faute d'appui technique en recherche-développement, les paysans adoptent un dispositif plus ou moins complexe de raies groupées dont la longueur est fixée en fonction de l'avancement de l'eau et des contraintes parcellaires.

Les premiers résultats des observations effectuées sur une dizaine de parcelles en suivi journalier font apparaître des efficacités d'application de l'ordre de 50%.

### 3-6 Organisations sociales et maintenance des réseaux.

Depuis la promulgation de la loi sur l'eau en 1972, l'INERHI administre l'eau en accordant des concessions aux irrigants ou groupes d'irrigants organisés.

Si, dans la première décennie d'application, la mise en place des concessions a permis aux groupes d'usagers d'enregistrer leurs droits anciens, l'évolution récente des conflits sur l'eau et celle des organisations paysannes posent de nouveaux problèmes: il y a atomisation et multiplication des associations d'irrigants, avec accroissement des tensions entre groupements appartenant aux mêmes systèmes d'irrigation.

L'augmentation des demandes en eau sur les réseaux anciens entraîne une plus grande fréquence de non respect des tours d'eau. Or, la fonction de "police de l'eau" n'est plus vraiment assurée par personne. Dans certains cas, la maintenance n'est plus correctement et régulièrement assurée, faute de consensus entre parties prenantes et faute de participants.

A terme, les conséquences peuvent aller jusqu'à la remise en cause de l'existence du réseau avec des effets économiques et sociaux désastreux.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- CADIER E., POURRUT P., 1979. - Inventario et détermination des données nécessaires à l'utilisation rationnelle des ressources en eau dans le cadre d'une planification globale des ressources naturelles renouvelables. L'expérience de l'Equateur. - In: Cahiers ORSTOM, série Hydrologie, vol. XVI, n° 3 et 4.
- POURRUT P., 1980. - Estimation de la demande en eau du secteur agricole et des disponibilités pour la satisfaire. Eléments de base pour la planification de l'irrigation en Equateur. - In: Cahiers ORSTOM, série Hydrologie, vol. XVII, n° 2.
- LE GOULVEN P., 1986.- Elaboration du Plan National d'Irrigation; analyse de la situation et conception générale.- Quito, INERHI-ORSTOM, 04/86, 22p (Fr., Esp.).
- RUF T., LE GOULVEN P., 1987.- L'exploitation des inventaires réalisée en Equateur pour une recherche sur les fonctionnements de l'irrigation.- In: Bulletin de liaison N° 12 "Equateur" Dpt. H, Paris, ORSTOM, 06/87, pp 30-47 (Fr., Esp.).
- LE GOULVEN P., RUF T., RIVADENEIRA H., 1987.- Metodologie générale et détails des opérations du projet INERHI-ORSTOM.- Quito, INERHI-ORSTOM, 06/87, 91p + an. (Fr., Esp.).
- RUF T., RIVADENEIRA H., 1987.- Selección de Micro-cuencas representativas en la Sierra.- Quito, INERHI-ORSTOM, 30p + an. (Fr., Esp.).
- RUF T., 1987.- Usted dijo "Sistemas de Producción", yo comprendí "Sistemas de Producción", Ensayo sobre el análisis de los conceptos y de los modos.- Conf. Sem. Sistemas Agrarios en el Perú.- Lima, UNALM-ORSTOM, 10/87, 39p.
- LE GOULVEN P., 1988.- Homogeneización de los datos pluviométricos.- Conferencia al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI).- Quito, del INERHI-ORSTOM, 17/03/88, 23p.
- LE GOULVEN P., 1988.- El vector Y. B. M., resumen metodológico; programas V1, V2, V3, manual del usuario.- Quito, INERHI-ORSTOM, 10/88, 14p.
- LE GOULVEN P., ALEMAN M., OSORNO I., 1988.- Homogeneización y regionalización pluviométrica por el método del vector regional.- Com. V Congreso Ecuatoriano de Hidráulica., Quito, 23-26/11/88, pp 59-83.
- LE GOULVEN P., RUF T., RIVADENEIRA H., 1989.- El Agua y el Campesino.- Conferencia al Seminario del Centro Internacional de Cooperación para el Desarrollo Agrícola (CICDA).- Cuenca, 17/06/89, 25p.
- LE GOULVEN P., RUF T., RIVADENEIRA H., 1989.- Traditional irrigation in the Andes of Ecuador, (1) Research and Planning.- Com. Seventh Afro-Asian Regional Conference of International Commission on Irrigation and Drainage (ICID).- Tokyo, 15-25/10/89, pp. 351-361.
- LE GOULVEN P., RUF T., RIVADENEIRA H., 1989.- Traditional irrigation in the Andes of Ecuador, (2) Dysfunctions and Rehabilitation.- Com. Seventh Afro-Asian Regional Conference of International Commission on Irrigation and Drainage (ICID).- Tokyo, 15-25/10/89, pp. 362-371.
- RUF T., LE GOULVEN P., RIVADENEIRA H., 1990.- Principales problemas del diagnóstico sobre el riego tradicional andino en el Ecuador, Com. Sem. Manejo del riego andino, Cajamarca, 20-27/01/90, 15p.