

REPUBLICA DEL ECUADOR

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA
CONADE - INERHI - ORSTOM

FUNCIONAMIENTO DEL RIEGO PARTICULAR
EN LOS ANDES ECUATORIANOS
Recomendaciones para el Plan Nacional de Riego

FONCTIONNEMENT DE L'IRRIGATION TRADITIONNELLE
DANS LES ANDES EQUATORIENNES
Recommandations pour le Plan National d'Irrigation

COMMUNICATIONS PRESENTEES
SUR L'IRRIGATION TRADITIONNELLE
DANS LES ANDES EQUATORIENNES

Période 1987 - 1992



Document élaboré par :

INERHI

Hugo RIBADENEIRA
Miguel ALEMAN
Ivan OSORNO

Patrick LE GOULVEN

Thierry RUF

ORSTOM

COMMUNICATIONS PRESENTEES
SUR L'IRRIGATION TRADITIONNELLE
DANS LES ANDES EQUATORIENNES

Période 1987 - 1992

Quito, juin 1993

Ont participé au Projet

POUR L'INERHI

DEPARTEMENT PLAN NATIONAL D'IRRIGATION

Ing. Hugo Ribadeneira

Ing. Alex Salazar

Section de Planification Hydro-agricole

Ing. Wellington Carrera

Ing. Maribell Montenegro

Ing. Marcelo Proaño

Ing. Edgar Pazmiño

Ing. Manuel Rojas

Ing. Eva Gavilanez

Mr Efraín Guerra

Mr Milton Hermosa

Me Marcia Lalama

Mlle Jeannette Veira

Section de Programmation Opérationnelle

Ec. Omar Silva

Ec. Edison Juna

Mr Mario Galarza

Mr Rodolfo Romero

DIRECTION

D'ADMINISTRATION DE L'EAU

Ing. Homero Villacres

Ing. Fernando Serrano

Hid. Angel Segovia

DEPARTEMENT PLAN NATIONAL DE RESSOURCES HYDRAULIQUES

Ing. Elder Aragundi

Section d'Evaluation des Ressources et des Analyses Hydro-économiques

Ing. Edmundo Góngora

Ing. Patricio Moncayo

Ing. José Silva

Ing. Patricio Nájera

Ec. Martha Durango

Hid. Antonio Gonzalez

Arq. Mercedes Jara

Arq. Guido Mantilla

Mlle Yadira Carrión

Mr Jorge Cisneros

Mr Edison Echeverría

Mr Patricio Cueva

Mlle Patricia Andrade

Section de Planification Hydrique

Ing. Iván Osorno

Ing. Miriam Ayala

Ing. Pedro Mosquera

Ec. Cesar Yumiseva

Mr Ricardo Díaz

UNITE D'INFORMATIQUE

Ing. Miguel Alemán (Chercheur Associé 2ans)

POUR L'EPN

Ing. Luis Bastidas

Ing. Francisco Cruz (INAMHI)

Ing. Santiago Sarasti

POUR L'ORSTOM

DEPARTEMENT EAUX CONTINENTALES

Ing. Patrick Le Goulven

Ing. Roger Calvez (01/91 -)

Ing. Xavier Bonhommeau (VSN 14 mois)

Ing. Jean-Louis Augeras (VSN 16 mois)

Ing. Luc Gilot (VSN16 mois, Alloc. 8 mois)

MISSIONS D'APPU

Ing. Michel Goueffon (CEMAGREF 1 mois)

Ing. Jean-Luc Sabatier (CIRAD 3 mois)

Ing. Alain Vidal (CEMAGREF 1 mois)

Ing. Isabelle Chaffaut (BCEOM 1 mois)

DEPARTEMENT SOCIETE, URBANISATION, DEVELOPPEMENT

Ing. Thierry Ruf

Ing. Emmanuel Dattée (VSN 14 mois)

Ing. Francis Haberstock (VSN 16, Alloc. 2)

PERSONNEL LOCAL TEMPORAIRE

Ing. Catherine Perroud

Ing. Isabelle Linossier

Mr Pablo Nuñez (puis Allocataire 18 mois)

Mr Geovanny Teran

Mlle Miriam Cisneros

Me Amparo de Egúez

Les noms en italiques indiquent des interventions ponctuelles, les noms soulignés indiquent les responsables administratifs ou scientifiques, et les doublement soulignés les co-directeurs respectifs.

FONCTIONNEMENT DE L'IRRIGATION TRADITIONNELLE EN ÉQUATEUR

L'ORSTOM et la Direction de la Planification de l'INERHI collaborent depuis 1987 pour mener des études nécessaires à l'élaboration du Plan National d'Irrigation de l'Équateur. La coopération entre les deux instituts a été renouvelée en décembre 1989 pour trois ans.

L'ORSTOM intervient avec des chercheurs de deux départements : un hydrologue du Département des Eaux Continentales (DEC) et un agro-économiste du Département Sociétés, Urbanisation, Développement (SUD).

L'INERHI intervient avec des ingénieurs et techniciens de la Direction de Planification (Départements Plan National d'Irrigation et Plan National Hydraulique).

Le projet scientifique pluri-disciplinaire traite de plusieurs thèmes de recherche sur le plan tant du milieu physique que du milieu socio-économique.

PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE

L'irrigation andine traditionnelle a une importance fondamentale dans le développement agricole des Andes équatoriennes. Elle touche plus de 200 000 hectares, mais on connaît très mal ses problèmes et ses performances.

Le projet ORSTOM-INERHI se propose d'analyser le fonctionnement de ces systèmes d'irrigation en vue de préparer une réhabilitation planifiée à coûts raisonnables, ensemble d'actions qui permettront d'augmenter la productivité, d'assurer une rentabilité économique aux investissements, et d'améliorer les conditions de vie des paysans.

Pour atteindre ces objectifs autant complexes qu'ambitieux, le projet a mis au point une série d'analyses thématiques dont les résultats alimentent la compréhension globale du fonctionnement de l'irrigation traditionnelle dans les Andes équatoriennes.

THÈMES SPÉCIFIQUES ABORDÉS

- A Choix Raisonné des Aires Significatives pour l'Étude des Dysfonctionnements de l'Irrigation Équatorienne (CRASEDIE)
- B Travaux et Actions Pluridisciplinaires sur l'Agriculture de Terrains Représentatifs de l'Irrigation Équatorienne (TAPATRIE)
- C Localisation, Organisation et Caractérisation de l'Irrigation Équatorienne (LOCIE)
- D L'Eau et sa Gestion Rationnelle : une Aide au Développement de l'Irrigation Équatorienne (EGRADIE).
- E Observatoire des Changements Agricoles et Socio-Économiques dans les Zones Irriguées Équatoriennes (OCASEZIE)
- F Étude Pédologique Orientée vers les Problèmes de l'Irrigation en Équateur (EPOPIE).
- H Histoire du développement des systèmes d'irrigation andins
- I Intégration, Banque Informatisée des Données Relatives à l'Irrigation Équatorienne (BIDRIE).

Le projet a accumulé une série de références fondamentales dans tous les domaines liés à l'irrigation, en essayant de compléter les lacunes de connaissances techniques et socio-économiques dans les conditions équatoriennes.

ORGANISATION ORSTOM

Patrick LE GOULVEN, hydrologue du DEC,
Directeur International du Projet

Thierry RUF, agro-économiste du SUD

ORGANISATION INERHI

Hugo RIBADENEIRA, Directeur National du
Projet (1987-1990)

Alex SALAZAR (1991)

PUBLICATIONS GÉNÉRALES DU PROJET INERHI-ORSTOM

Pour assurer une gestion efficace du projet, les 8 opérations décrites à la page précédente sont divisées en 58 activités spécifiques.

A chaque activité correspond :

- une tâche précise,
- du personnel français et équatorien nommément désigné, avec un responsable d'activité,
- une description des produits attendus,
- un chronogramme de travail pour l'année en cours.

Cette structuration permet d'évaluer rapidement l'avancement du travail, de gérer l'ensemble du personnel et de prévoir le plan de publication des résultats.

Les produits attendus d'une activité sont de différentes natures : logiciels, banque de données, cartes, rapports méthodologiques, rapports de synthèse, présentation de données, annexes de mesures, ...

Pour donner une certaine cohérence aux divers rapports, ceux-ci sont publiés dans une même collection sous une couverture identique et sont identifiés par :

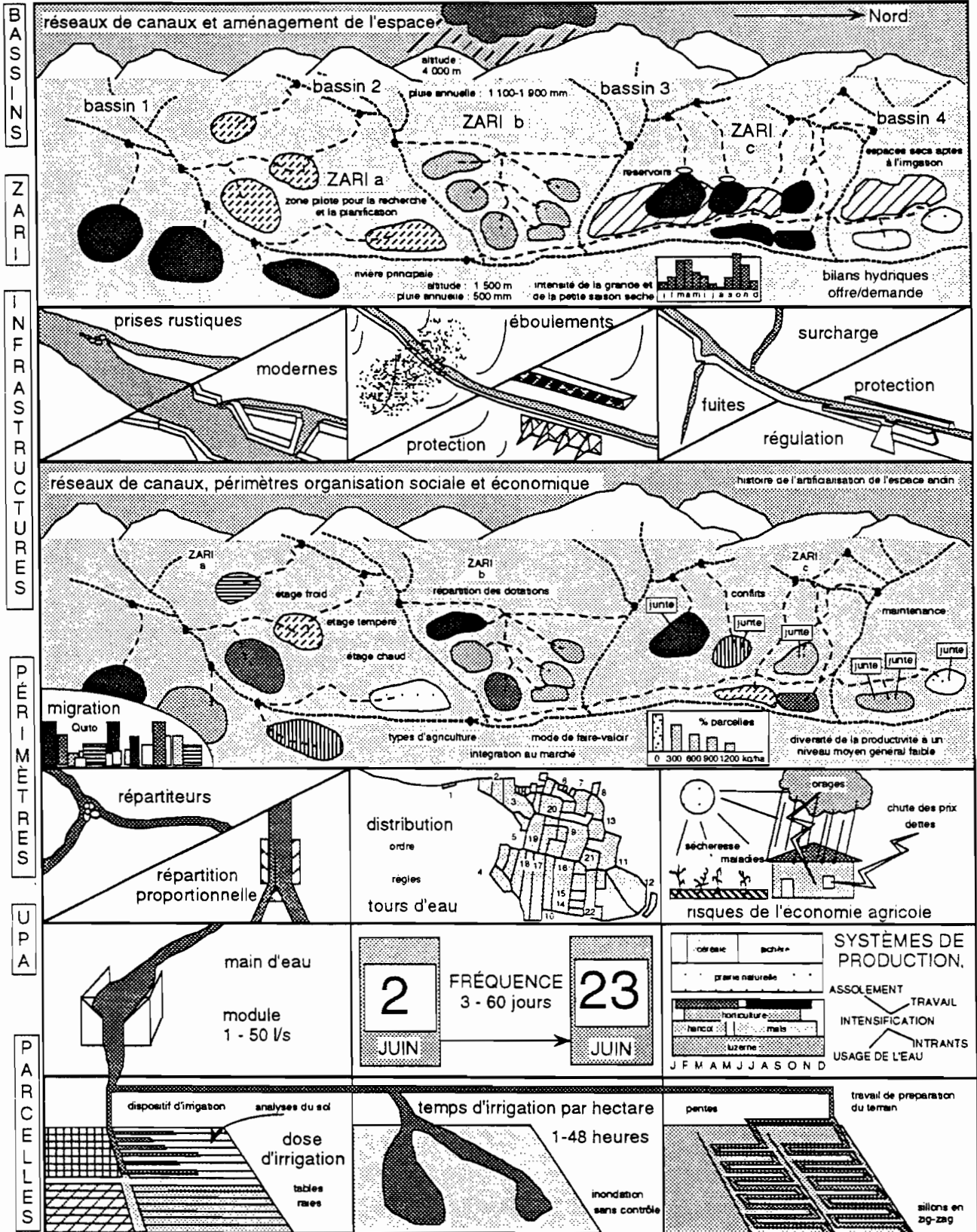
- un numéro de série qui correspond à l'activité,
- un nom de volume qui précise soit le thème traité (méthodologie, présentation d'un logiciel), soit l'espace étudié selon les différentes échelles de travail proposées (cf. ci-contre),
- un numéro de tome quand le volume correspond à un rapport trop volumineux.

PRESENTATION DE CE VOLUME

Dans le cas présent, le rapport ne correspond pas à une publication ordinaire du projet. Il rassemble toutes les communications présentées à des congrès, séminaires et colloques (nationaux ou internationaux) durant la période de validité des 2 conventions qui furent signées entre l'ORSTOM et l'INERHI (décembre 1986 - février 1993).

Il s'agit donc d'un effort de restitution des appréciations et des conclusions qui se sont affinées au fur et à mesure de l'obtention de nouvelles données.

LES ÉCHELLES DE TRAVAIL SUR LE FONCTIONNEMENT DE L'IRRIGATION DANS LES ANDES



SOMMAIRE

Présentation du projet ORSTOM-INERHI

Patrick LE GOULVEN, Thierry RUF, Hugo RIBADENEIRA, 1987 p 1

Notes sur la thèse de P. A. Mothes, 1986 " Pimampiro's Canal : adaptation and infrastructure in northern ecuador "

Com. IIIème Séminaire "Aménagements hydro-agricoles et systèmes de production". DSA/CIRAD, Montpellier, 16-19/12/86, pp 511-518.

Thierry RUF, 1986..... p 25

L'Etat et l'irrigation en Equateur, histoire, problèmes actuels et exemple du système : Latacunga - Salcedo - Ambato.

Com. IIIème Séminaire "Aménagements hydro-agricoles et systèmes de production". DSA/CIRAD, Montpellier, 16-19/12/86, pp 519-523.

Hugo RIBADENEIRA, 1986..... p 37

* Vous avez dit : " Systèmes de production ? ", j'avais compris : " systèmes de production ! " - Essai d'analyse des concepts et des modes.

Conf. Séminaire "Sistemas Agrarios en el Perú", UNALM-ORSTOM, Lima (Pérou), 10/87.

Thierry RUF, 1987..... p 45

Homogénéisation des données pluviométriques.

Conf. Colloque "Día mundial de la Meteorología", Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI, Quito, 03/88.

Patrick LE GOULVEN, 1988 p 73

Homogénéisation et régionalisation pluviométrique par la méthode du vecteur régional.

Com. V ème Congrès Equatorien d'Hydraulique, Asociación Ecuatoriana de Hidráulica AEHID/CICP, Quito. 23-26/11/88.

Patrick LE GOULVEN, Miguel ALEMAN, Ivan OSORNO, 1988 p 95

Irrigation traditionnelle dans les Andes, analyse et diagnostic.

Com. Séminaire "Agua y campesino" du Centre International de Coopération pour le Développement Agricole CICDA, Cuenca (Equateur), 17/06/89.

Patrick LE GOULVEN, Thierry RUF, Hugo RIBADENEIRA, 1989 p 119

*** Research and planning on traditional irrigation in the Andes of Ecuador.**

Com. VII th Afro-Asian Regional Conférence, International Commission on Irrigation and Drainage ICID, Tokyo, 15-25/10/89, pp. 351-361.

Patrick LE GOULVEN, Thierry RUF, Hugo RIBADENEIRA, 1989 p 143

*** Dysfunctions and Rehabilitation in the traditional irrigation in the Andes of Ecuador.**

Com. VII th Afro-Asian Regional Conférence, International Commission on Irrigation and Drainage ICID, Tokyo, 15-25/10/89, pp. 362-371.

Patrick LE GOULVEN, Thierry RUF, Hugo RIBADENEIRA, 1989 p 153

*** Principaux problèmes du diagnostic des réseaux traditionnels d'irrigation dans les Andes de l'Equateur.**

Com. Seminaire "Manejo del agua y adecuación de tecnologías en la región andina" Consejo Nacional de Ciencias y Tecnologías CONCYTEC, Cajamarca (Pérou), 20-27/01/90.

Thierry RUF, Patrick LE GOULVEN, Hugo RIBADENEIRA, 1990 p 163

*** L'eau et sa gestion dans la planification de l'irrigation traditionnelle dans les Andes équatoriennes.**

Com. VIèmes Journées Hydrologiques. ORSTOM, Montpellier, 12-13/09/90.

Patrick LE GOULVEN, Thierry RUF, 1990 p 179

*** Dysfonctionnements et adaptations dans les systèmes agraires irrigués des Andes de l'Equateur.**

Com. Colloque international "Agriculture et paysannerie en Amérique Latine" CNRS/Université du Mirail, Toulouse. 13-14/12/90.

Thierry RUF, Patrick LE GOULVEN, 1990 p 203

*** Hydraulic's functioning of Farmer-Managed Irrigation Systems in Northern Ecuadorian Andes.**

Com. International Workshop "Performance measurement in farmer-managed irrigation systems", International Irrigation Management Institute IIMI/INCYTH, Mendoza (Argentina), 11-15/11/91.

Patrick LE GOULVEN, Thierry RUF, 1991 p 215

Régionalisation climatique (pluie et ETP) dans les Andes équatoriennes.

Com. VIIIèmes Journées Hydrologiques "Régionalisation en Hydrologie - Application au développement", ORSTOM, Montpellier, 22-23/09/92.

Patrick LE GOULVEN, Miguel ALEMAN, 1992 p 227

PRESENTATION DU PROJET ORSTOM - INERHI

par P. LE GOULVEN *, T. RUF **, H. RIBADENEIRA ***

Quito, mai 1987

- * hydrologue ORSTOM, Mission ORSTOM, CP 17-11-06596, Quito, Equateur.
- ** agro-économiste ORSTOM, Mission ORSTOM, CP 17-11-06596, Quito, Equateur.
- *** Ingénieur civil EPN, INERHI, 532 Juan Larréa y Río Frío, Quito, Equateur.

INTRODUCTION

Le 17 octobre 1985, à Paris, l'ORSTOM (Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération) et l'INERHI (*Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos*) signaient un accord provisoire de travail, concrétisant ainsi plusieurs années de discussions concernant une éventuelle coopération scientifique et technique en vue de contribuer à la formulation du Plan National d'Irrigation.

Cet accord prenait effet en février 1986, avec l'arrivée d'un hydrologue de l'ORSTOM (P. LE GOULVEN), et en juillet de la même année, avec l'affectation d'un agro-économiste (T. RUF).

En mai 1986, deux documents sont publiés:

- Analyse de la situation actuelle et conception générale du Plan National d'Irrigation
- Termes de référence d'un projet spécifique de coopération

Élaborés avec le chef du département *Plan Nacional de Riego* de l'INERHI (H. RIBADENEIRA) et approuvés par le Représentant de l'ORSTOM en Équateur (P. POURRUT), ces textes tiennent compte des besoins formulés par l'INERHI, de l'information déjà existante et des travaux réalisés ou en cours dans ce domaine.

Puis le projet spécifique de coopération fut adressé aux diverses instances des deux instituts et modifié en fonction des remarques et commentaires reçus. Le texte définitif entreprit alors une course de longue haleine dans les arcanes administratives, aboutissant le 18 décembre 1986 à la signature du projet spécifique de coopération scientifique et technique entre l'INERHI et l'ORSTOM par le Ministre équatorien des Relations Extérieures, le Directeur Exécutif de l'INERHI et le Représentant de l'ORSTOM dans ce pays, en présence du représentant de l'Ambassade de France en Équateur.

Le travail ne commença réellement qu'en février 1987 soit plus d'un an après la signature de l'accord provisoire.

Mais loin d'être inutile, ce laps de temps à été mis à profit pour :

- analyser de manière exhaustive la documentation existante sur l'irrigation actuelle ;
- visiter plusieurs systèmes d'irrigation tant publique que privée ;
- préciser les objectifs du projet en fonction des deux points antérieurs et délimiter les domaines de travail ;
- prendre contact avec divers instituts équatoriens et leur proposer une collaboration ;
- affiner les méthodes de travail et adapter les programmes informatiques d'analyse et de traitement des données ;
- formuler les tâches à effectuer et constituer les équipes.

Enfin, un ingénieur du CEMAGREF (Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural des Eaux et des Forêts) est venu en mission d'appui du 1^{er} décembre 1986 au 15 janvier 1987 pour observer le fonctionnement des grands types d'irrigation actuels et essayer de définir, avec nous, les modalités d'observation. Un rapport sur la « Caractérisation préliminaire de l'irrigation et des observations à réaliser sur les infrastructures » concluait la mission.

Les travaux antérieurs ont été l'objet de rapports, de notes manuscrites, ou simplement de commentaires lors des multiples réunions, cependant, l'ensemble restait disparate et le besoin s'est donc fait sentir de publier un texte général qui réunisse toutes les conclusions des étapes

préparatoires, qui précise les différents thèmes abordés, en éclaire les relations et tente donc de répondre aux inquiétudes pressenties.

Le présent document est un résumé de ce rapport sur " la méthodologie générale et le détails des opérations du projet INERHI - ORSTOM " paru en 1987.

Après une analyse de la situation actuelle, on expose les objectifs poursuivis, définit les unités spatiales d'analyse et leur différentes échelles, met en relation les travaux de terrain et les études thématiques proposées et précise certains termes qui seront utilisés postérieurement.

Sont présentées finalement les différentes opérations envisagées et leurs relations.

Ce document n'était qu'une base de départ qui sera modifiée au fur et à mesure de notre avancement dans ce domaine encore peu connu.

Néanmoins, il nous permettra de mieux présenter ce projet au sein même des deux instituts concernés, ainsi qu'aux équipes locales ou étrangères travaillant sur le même sujet.

I - OBJECTIFS GÉNÉRAUX

1. ASPECT LÉGAL ET INSTITUTIONNEL

La création de l'INERHI en 1966 répond à la nécessité d'avoir un organisme public qui gère les obligations de l'État en matière d'irrigation et de conservation du sol, selon une politique unique et cohérente.

Les principales attributions de l'Institut sont définies dans l'article 3 et concernent les aspects suivants :

- élaborer et exécuter le Plan National d'Irrigation comme partie intégrante du Plan National de Développement Économique et Social du pays et collaborer avec le Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage et le Conseil National de Développement (CONADE) pour actualiser ce plan ;
- projeter, étudier, construire et exploiter les systèmes d'irrigation, seul ou en coopération avec d'autres institutions ;
- évaluer les ressources en eau du pays avec l'Institut National de Météorologie et d'Hydrologie (INAMHI), en dresser l'inventaire et le maintenir actualisé ;
- étudier et fixer les nécessités en eau pour l'irrigation ;
- connaître et autoriser les sollicitudes de concession d'usage de l'eau.

La Loi sur l'eau de 1972 vient renforcer la position de l'Institut en décrétant l'eau superficielle et souterraine comme bien national d'utilité publique et en confiant sa gestion à l'INERHI.

2. CONCEPTION GÉNÉRALE

Le contexte légal antérieur définit donc le Plan National d'Irrigation comme une réponse à une analyse socio-économique globale.

L'identification, la caractérisation et la hiérarchisation des actions doivent orienter les décideurs et le calendrier d'exécution des projets, leur permettre de respecter les objectifs nationaux fixés.

Durant l'époque du boom pétrolier, la principale préoccupation fut de satisfaire l'autosuffisance alimentaire du pays. Actuellement, la forte baisse des prix du pétrole et l'endettement extérieur incitent le gouvernement à chercher d'autres sources de devises. Or, l'exportation des produits agricoles en est une.

La hiérarchisation des actions et la planification des investissements destinés à leur exécution sont par conséquent des éléments extrêmement variables qui dépendent de facteurs stratégiques et politiques strictement internes à l'Équateur et peuvent donc difficilement faire l'objet d'une collaboration avec un organisme étranger.

Enfin, l'INERHI étant avant tout un institut technique, il n'a pas la capacité professionnelle et institutionnelle pour mener à bien cette tâche.

Par contre, pour répondre à ses attributions légales, il peut construire des instruments techniques capables de s'adapter à différentes stratégies en considérant le Plan comme une série d'opérations distinctes et successives :

- Caractérisation des actions possibles

On peut considérer cette opération comme l'élaboration d'une matrice dont chaque ligne représente un projet et chaque colonne un paramètre. Cette matrice constitue un instrument d'aide à la décision indépendant du Plan. Ce sont la hiérarchisation et les prises de décision postérieures qui permettent de passer de la matrice au Plan.

La matrice de caractérisation est donc un instrument permanent dont les paramètres peuvent être précisés et réactualisés et dont la flexibilité permet de le réduire ou l'augmenter. C'est surtout par le biais de l'informatique qu'on profitera de cette souplesse d'utilisation.

- Présélection

Cette étape marque l'entrée des décideurs (et donc du CONADE) qui devront effectuer une première sélection, en agissant principalement sur les paramètres indicatifs (localisation administrative, types de production possible...) et selon les orientations gouvernementales en vigueur.

Les données restantes conformeront ce que nous appellerons la *Matrice de décision*.

- Analyse et hiérarchisation

L'utilisation d'un modèle d'analyse multidimensionnelle facilitera la prise de décisions en présence de critères multiples, dont l'importance pourra être modifiée en agissant sur le poids de chaque paramètre. Cela devrait faciliter la sélection des projets dans lesquels l'investissement public favorisera au mieux l'accroissement des productions commercialisées et, par voie de conséquence, l'augmentation du revenu des agriculteurs.

Les paramètres de caractérisation seront établis à partir de diagnostics scientifiques fondés sur les données réelles du milieu physique et socio-économique, données qu'il conviendra de rechercher sur le terrain dans la plupart des cas, et qui viendront remplacer les données internationales normatives, très difficiles à transposer dans un pays comme l'Équateur.

II - GÉNÉRALITÉS SUR L'IRRIGATION EN ÉQUATEUR

1. PRÉSENTATION DU PAYS

La République d'Équateur est située au nord-ouest du continent sud-américain, entre les parallèles 1°20' de latitude Nord et 5° de latitude Sud. Elle s'étend de l'Océan Pacifique jusqu'au bassin amazonien entre les méridiens 75° et 81° de longitude ouest.

À peu près à 1000 km à l'ouest, les îles Galápagos sont distribuées de part et d'autre de la ligne équatoriale.

La superficie du territoire est d'un peu plus de 281 000 km² répartis d'ouest en est en 3 grandes régions naturelles :

- La **Costa** comprend une frange littorale de 100 km de large en moyenne. Dans ses parties occidentale et nord-occidentale, s'élève une petite cordillère qui ne dépasse pas les 800 m d'altitude.
- La **Sierra** est caractérisée par l'imposante barrière montagneuse de la cordillère des Andes dont la largeur oscille entre 100 et 140 km.

Dans la partie nord, on distingue 2 massifs (cordillères Occidentale et Royale) bien séparés par un couloir interandin d'environ 40 km de large et couronnés de volcans dépassant les 6 000 m d'altitude.

Dans le Sud du pays, les cordillères perdent leur individualité et les cimes leur altitude (2 000 à 3 500 m).

- L'**Oriente** est en grande partie constitué par le bassin amazonien où s'étendent de grandes vallées alluviales parfois marécageuses.

Seuls 22 % du territoire sont consacrés à l'agriculture proprement dite ; le reste est occupé par les forêts vierges ou les *páramos* (formation herbacée de haute montagne).

	milliers d'hectares	% superficie	% agricole
Superficie cultivée	1 730	6,2	28,0
Prairies artificielles	25	0,1	0,4
Prairies naturelles	4 433	15,7	71,6
Total superficie agricole	6 188	22,0	100,0
Forêts et páramos	21 994	78,0	100,0

Usage actuel du sol en Équateur (source : MAG)

2. LE CLIMAT ET LES RESSOURCES HYDRIQUES : UNE RÉPARTITION INÉGALE DANS L'ESPACE ET LE TEMPS

Sur un plan général, l'Équateur est un pays doté d'un grand potentiel hydrique. Les deux versants, l'oriental amazonien comme l'occidental pacifique, offrent suffisamment d'eau pour satisfaire les différents types de demande. Cependant, la grande variabilité des ressources dans le temps et dans l'espace induit de graves problèmes, caractérisés par une succession de sécheresses (couloir interandin) et d'inondations (*Costa*).

La pluviosité annuelle varie de 100 à 5 000 mm.

La région amazonienne et la partie nord de la *Costa* sont les zones les plus pluvieuses et reçoivent plus de 3 000 mm. Les précipitations sont bien réparties tout au long de l'année avec une légère diminution entre décembre et février.

Du littoral jusqu'au piémont de la cordillère Occidentale, les précipitations augmentent régulièrement (moins de 200 mm à 3 000 mm). Le régime pluviométrique comprend une saison de pluies de décembre à mai et une saison sèche assez marquée le reste de l'année.

Dans la partie sud, on note une nette tendance à la sécheresse dont il faudra tenir compte dans un processus de planification à moyen et long terme.

Enfin, la région andine reçoit alternativement des masses d'air océanique et amazonien qui définissent un régime à deux saisons de pluies (de février à mai et d'octobre à novembre). Les totaux pluviométriques ne sont pas très élevés (entre 800 et 1 500 mm) et peuvent descendre à 300 mm dans les vallées bien abritées.

D'autre part, le relief très marqué implique une ample variation de la température et certaines parties cultivées de la *Sierra* sont touchées par les gelées.

3. LE DÉVELOPPEMENT DE L'IRRIGATION DANS LE PAYS : UNE HISTOIRE ANCIENNE MAIS UNE INTERVENTION RÉCENTE DE L'ÉTAT

En raison de la distribution irrégulière des pluies, l'irrigation a été pratiquée en Équateur depuis déjà longtemps, bien que dans le cadre d'aménagements de faible amplitude.

Il semble même que les Quitus, anciens habitants vivant aux alentours de l'actuelle capitale Quito, aient su dès le début de l'ère chrétienne, organiser un système d'administration de l'eau.

Puis les Incas, qui dominèrent la zone interandine de l'actuel Équateur entre les années 1460 et 1534, durent établir un réseau appréciable de canaux d'irrigation dont subsistent encore çà et là quelques vestiges.

Mais les colonisateurs espagnols détruisirent une bonne partie de ces ouvrages, ou les utilisèrent à leur profit, et bien que quelques secteurs (la *Sierra* en particulier) aient connu l'irrigation dès le début de l'époque coloniale, en fait, presque tous les ouvrages qui fonctionnent aujourd'hui dans le pays ont été établis à l'époque de la République, c'est-à-dire durant le XIX^e et le XX^e siècles.

L'importance des ouvrages d'irrigation dépendait alors de la situation économique du propriétaire qui les faisait construire et qui se trouvait être également propriétaire de l'eau et du système de distribution.

C'est ainsi que bon nombre de propriétaires vendaient l'eau, ou la louaient à des prix et des conditions fixés par eux seuls, exploitant ainsi les agriculteurs.

On a même recensé des propriétaires qui ne possédaient pas de terre mais toute l'eau, et qui firent fortune !

Cette situation changea — au moins sur le plan légal — à partir de 1972 : la Loi sur les eaux décréta que l'eau, sous quelque forme que ce soit, était patrimoine de l'État, et que son administration revenait à l'INERHI.

En fait l'intervention gouvernementale sur l'irrigation remonte au début du XX^e siècle : la première loi sur les eaux (de 1936) tentait de créer des bases juridiques à une meilleure répartition des ressources hydriques ; en 1944, une loi complémentaire, la Loi d'irrigation et d'assainissement, donnait à l'État le pouvoir de réaliser des ouvrages d'intérêt public, à travers la création d'une première institution : **la Caisse Nationale d'Irrigation**.

Cette institution ne reçut pourtant pas d'attribution nationale en matière de planification et de contrôle de l'usage des eaux. En fait, elle se comporta comme une simple entreprise publique de construction et ne se préoccupa jamais de l'agriculture, ni du développement en général.

Ce n'est qu'en 1966 que fut créé l'INERHI, avec l'intention de lui confier l'administration de l'eau sous ses aspects techniques et juridiques, et le souci de définir une politique de l'eau et planifier l'accès aux ressources hydriques.

Avant la création de l'Institut, des structures régionales de développement s'étaient constituées afin de promouvoir des aménagements hydro-agricoles propres.

Certaines fonctionnent aujourd'hui encore et gèrent quelques-uns des principaux aménagements du pays.

Par ailleurs, des particuliers ont construit, à leur initiative propre, un grand nombre d'ouvrages allant de simples petits canaux, ayant une prise rudimentaire dans un rio, à des systèmes très complexes, comme dans le cas des grandes exploitations agro-exportatrices.

C'est ainsi qu'au moins les deux tiers de la superficie irriguée du pays correspondent à des aménagements réalisés sans aucune intervention publique.

On notera également une très forte progression des superficies irriguées au cours du XX^e siècle, surtout dans les trente dernières années où elles auront pratiquement quadruplé.

année	superficie agricole (milliers d'hectares)	superficie irriguée (milliers d'hectares)
1900	500	40
1954	2 080	112
1971	3 800	117
1981	5 820	426
1986	6 190	550

Évolution des superficies agricoles irriguées en Équateur
(prairies et forêts artificielles comprises)

4. LES GRANDS PROBLÈMES DE L'IRRIGATION EN ÉQUATEUR

Les aménagements existants ont été entrepris sans tenir compte d'un contrôle de planification régionale ou nationale. Il est donc normal que les solutions adoptées ne soient pas toujours les meilleures et que les rendements agricoles comme les surplus de commercialisation ne répondent pas aux espérances.

L'INERHI essaie de résoudre ces problèmes à travers son département du Plan National d'Irrigation et de Drainage.

Avant lui, aucune institution publique n'eut telle charge, si bien que certaines décisions ont été prises sous l'influence de pressions politiques sans tenir compte des priorités établies ou même du simple bon sens (disponibilité en eau).

Par ailleurs, l'État n'a pas toujours porté l'attention nécessaire au secteur irrigué, en matière d'investissement.

Malgré tout, le récent effort entrepris, notamment par les organismes régionaux de développement, a doté le pays de quelques aménagements de grande envergure.

Jusqu'au début des années soixante-dix, on notait les principaux problèmes suivants :

- l'absence de toute planification, aboutissant à des décisions subjectives et parfois même irrationnelles ;
- l'absence de lois en ce domaine (jusqu'à celle de 1972), entraînant une situation juridique inextricable ;
- de faibles ressources économiques et une dispersion des programmes au sein de structures inadéquates et agissant sans coordination ;
- l'absence d'assistance technique et financière pour créer les conditions favorables au développement de périmètres irrigués ;
- des structures de commercialisation inadaptées....

À partir de 1970, certains de ces défauts ont été corrigés notamment dans la nouvelle approche par « projet de développement intégré », où l'irrigation est simplement considérée comme un moyen et non comme une finalité.

En plus de l'accroissement des investissements publics et la création d'une planification nationale, on constate une certaine redistribution foncière (effets de la Réforme Agraire) ; en même temps, les coopératives amplifient leur action et la construction de réservoirs permet d'améliorer le fonctionnement des périmètres.

Ceci dénote que le pays a pris conscience de l'intérêt de l'irrigation et de la nécessité de la promouvoir.

Actuellement la « demande sociale » (articles de presse, délégation de paysans venant au siège de l'INERHI), pour obtenir soit des droits d'eau soit des infrastructures, se fait plus forte ; l'accroissement démographique y contribue sûrement.

Par ailleurs, il semble que ce qui existe, fonctionne en dessous de son potentiel et que les problèmes ne manquent pas. Un rapide survol du pays et la compilation de la documentation existante permettent de dégager les points suivants :

- **L'irrigation publique** semble pâtir d'un manque d'eau; dû, d'une part, à une surestimation des débits disponibles (carence de données) et, d'autre part, à l'aménagement de superficies plus étendues que celles initialement prévues.

Cela entraîne une grande variation des débits disponibles (600 à 20 000 m³/ha/an), pour des projets aux caractéristiques agro-climatiques voisines.

Par ailleurs, le fonctionnement réel de certains périmètres diffère de celui prévu à la conception des projets : par exemple, l'irrigation de nuit, nécessaire en cas d'alimentation insuffisante, est peu appréciée, et l'utilisation de forts débits durant des temps très courts avec une fréquence faible du tour d'eau, ne correspond pas au dimensionnement classique des tertiaires (main d'eau = surface x débit fictif continu).

Enfin, les différents secteurs d'un même aménagement peuvent connaître une mise en valeur très inégale selon les cultures pratiquées, les possibilités de commercialisation, l'ancienneté des exploitants et la concurrence des sources d'emploi (proximité des grandes villes).

- **Les réseaux privés** sont caractérisés par une très grande complexité due à leur nombre et à leur tracé. Par conséquent, les recensements effectués sont souvent incomplets ou inexacts, d'autant que l'accès en est difficile et le contrôle presque impossible.

L'examen au niveau d'une vallée (rio Mira) des ratios débits concédés / surfaces irriguées met en évidence une très grande variation (0,12 à 1,6 l/seg/ha) que les seules différences de cultures ne peuvent expliquer, trahissant par là une méconnaissance des surfaces et des débits réels et/ou une répartition inégalitaire des ressources.

De ce fait, les exploitants semblent avant tout attendre un approvisionnement sûr (amélioration des prises, juste attribution des dotations) et une meilleure desserte (rectification des tracés, revêtements des canaux...).

Sauf étude particulière (thèse, etc.), les données agro-socio-économiques sont inexistantes.

5. CONCLUSION : DES PRÉCISIONS SUR LES OBJECTIFS

Actuellement, il est vrai que la plupart des sites idéaux ont été aménagés, principalement dans la *Sierra*. Tout nouvel aménagement coûtera de plus en plus cher, au moment où, dans un contexte de crise économique et pétrolière, l'État doit compter ses deniers. Qui plus est, le tremblement de terre du 5 mars 1987 a aggravé la situation macro-économique du pays et renforcé le besoin de « mieux cadrer » les actions publiques de développement.

Jusqu'à présent l'INERHI a surtout porté ses efforts sur l'extension des superficies irriguées, par la construction de nouveaux périmètres dont il connaît peu les succès comme les échecs (pas d'évaluation). Il est temps d'examiner si l'amélioration de ceux déjà existants ne permettrait pas d'obtenir les mêmes résultats pour des investissements bien moindres.

Extension ou intensification, le choix n'est pas nouveau : il est d'actualité dans plusieurs pays et d'autres continents. Pour l'effectuer de manière réaliste, l'INERHI se doit de posséder un instrument de jugement objectif sur la situation des projets existants tant privés que publics.

La construction de cet instrument constitue donc l'objectif de recherche en coopération par le développement qui devra fournir des bases scientifiques aux débats politiques sur l'irrigation.

Dans ces conditions, les efforts devront surtout porter sur l'irrigation privée pour les raisons suivantes :

- c'est une irrigation très mal connue ;
- elle constitue, et continuera de constituer, la part prédominante des surfaces irriguées (**plus de 75 %**) et recèle à ce titre les plus grandes potentialités de développement de la production et de la population ;
- elle est présente dans l'ensemble du pays et coexiste avec des réalisations publiques qui, en quelque sorte, forment le dernier maillon d'une chaîne historique d'aménagements superposés ;
- en raison de l'existence d'une forte tradition d'irrigation, les exploitants savent irriguer, connaissent les améliorations à apporter à leurs réseaux et sont probablement prêts à participer : il est donc justifié de penser que toute intervention, même d'un coût limité et débordant le cadre de l'irrigation au sens strict, aura une rentabilité marginale et un impact très importants ;
- la pression sociale sur l'eau semble s'intensifier dans la *Sierra*, et risque de créer de nouvelles tensions. Afin de les éviter, il devient urgent de bien connaître l'irrigation privée, pour y détecter les améliorations techniques et sociales appropriées.

III - LES UNITÉS SPATIALES DE LA RECHERCHE ET DE LA PLANIFICATION

Une politique de développement agricole s'appuie sur l'aménagement d'espaces caractérisés qui conviennent également aux décisions.

Actuellement, elle s'exerce sur des unités administratives régionales ou sur des projets locaux.

On tentera donc de concevoir une unité spatiale adéquate qui concorde à la fois avec les échelles d'étude et celles de décision.

On favorisera l'étude d'échelles emboîtées pour alimenter les diagnostics par les études ponctuelles de terrain et passer ensuite à la planification régionale, puis nationale.

Ce sont ces échelles que nous allons examiner maintenant.

1. LE NIVEAU NATIONAL

Le pays est organisé en grand nombre de bassins hydrographiques bien différenciés en général, sauf sur le littoral, où il a fallu procéder à certains regroupements.

Tous n'ont pas la même importance, les mêmes ressources en eau ni les mêmes besoins : c'est pourquoi il faudra d'abord raisonner par comparaison de projets d'un bassin à l'autre.

Les transferts hydriques entre bassins hydrographiques seront envisagés ultérieurement si nécessaire, après un premier diagnostic.

Cette problématique diffère totalement des systèmes du type « Tennessee Valley » ou « Vallée du Nil », où toute intervention se répercute sur l'ensemble des aménagements.

2. LE GRAND BASSIN HYDROGRAPHIQUE

À cette échelle, on rencontre des aménagements dépendants (relation amont-aval) mais aussi des projets plus ou moins autonomes sur des affluents ramifiés.

Le bassin hydrographique est fondamental pour le bilan hydrologique global, mais il est encore trop vaste pour la mise en œuvre d'un projet d'aménagement unique. Chaque bassin est d'ailleurs fort hétérogène et contient des secteurs de forte production d'eau, d'autres très déficitaires, sans que nécessairement ces derniers soient situés à l'aval des premiers.

Sur le plan agro-socio-économique, le bassin hydrographique n'est pas non plus une unité homogène. On y trouve une grande diversité de systèmes agraires. En revanche, il peut constituer un ensemble économique (bassin d'emploi, pôle de commercialisation...) qui donne le cadre général de l'économie agricole d'unités spatiales plus petites.

3. LE BASSIN VERSANT UNITAIRE

Cette entité hydrographique de moindre importance a été définie dans le cadre des travaux menés par l'ORSTOM et le PRONAREG : il s'agit de bassins versants de 50 à 120 km² dans lesquels les facteurs conditionnant le régime hydrologique varient peu.

Dans la *Sierra*, ces bassins contiennent une zone de haute montagne (souvent supérieure à 3 000 m d'altitude) productrice d'eau, et une partie basse largement aménagée et très

demandeuse en eau à cause d'un déficit pluviométrique très marqué ; on distinguera parfois une partie médiane de petits périmètres irrigués alimentés à partir des affluents latéraux les plus proches.

À première vue, le bassin unitaire semble correspondre à l'aménagement traditionnel.

Il pourrait donc constituer l'unité de recherche et de réflexion sur l'aménagement et l'amélioration des systèmes irrigués traditionnels, car c'est à ce niveau que l'on peut apprécier le bilan entre l'offre et la demande en eau, s'intéresser à l'efficacité des infrastructures et comprendre la répartition des ressources entre groupes d'utilisateurs : en résumé, porter un jugement sur la gestion collective de l'eau.

Hélas, les tournées de terrain ont montré que le bassin unitaire ne correspond pas toujours à l'unité spatiale de base des aménagements hydro-agricoles : il existe des transferts d'eau importants, surtout dans les parties inférieures, où les séparations entre bassins ne sont pas très marquées.

4. LE PÉRIMÈTRE UNITAIRE

C'est une unité aménagée dépendant d'un seul canal d'irrigation et dont l'usage du sol paraît suffisamment homogène d'après la cartographie élaborée par ORSTOM-PRONAREG.

Chaque bassin unitaire compte plusieurs types d'utilisation correspondant à différents périmètres unitaires.

Par exemple, le bassin de Palacara (bassin hydrographique du MIRA) voit sa partie basse occupée par un périmètre sucrier (haciendas) tandis que sa partie médiane est utilisée par le périmètre vivrier de Cahuasquí.

Le périmètre unitaire correspond bien à la notion de système agraire. Il s'agit d'un certain type d'établissement humain dont le canal d'irrigation porte souvent le nom d'*acequia del pueblo*, pour le périmètre strictement paysan, et *acequia*- suivi d'un nom propre ou d'un lieu-dit, pour les haciendas.

Cette unité correspond également au type d'administration de l'eau effectuée par l'INERHI ; théoriquement, chaque canal d'irrigation doit être officiellement enregistré et l'INERHI lui attribue une dotation officielle : il existe donc un embryon de base de données à cette échelle.

5. LA ZARI

(ZONE D'ANALYSE ET DE RECOMMANDATIONS POUR L'IRRIGATION)

Une unité opérationnelle de recherche et de planification conçue après observation de plusieurs aménagements hydro-agricoles.

5.1. Les étapes de la conception

Le bassin unitaire est l'unité fondamentale des hydrologues : elle leur permet d'étudier les transformations pluies-débits et de fixer la ressource en eau.

En cas de modélisation d'un grand bassin hydrographique, il constitue l'unité spatiale élémentaire, la maille sur laquelle se calculeront les bilans d'offre et de demande en eau.

Le premier inconvénient apparaît dans sa définition : en tant que bassin versant, ses limites sont définies par des lignes de séparation d'écoulement bien visibles dans les parties montagneuses, mais assez floues quand on arrive dans le couloir interandin ou que l'on travaille dans la *Costa*.

Additionnellement, des bassins de liaison ont été dessinés pour relier les bassins unitaires entre eux et constituer un canevas hydrologique complet des grands bassins. Évidemment, ces unités additionnelles respectent le sens du drainage, gardent les mêmes dimensions que les bassins tracés par ORSTOM-PRONAREG et tiennent compte des stations hydrométriques existantes.

Malheureusement, la plupart sont situés dans le fond des vallées et rassemblent des entités physiques et humaines souvent différentes.

Or, c'est sur ces zones que l'irrigation est la plus nécessaire et qu'elle s'est le plus développée, en captant une partie des ressources hydriques des bassins unitaires avoisnants.

La première idée était d'admettre une prolongation des bassins unitaires qui éliminerait, ainsi, les bassins de liaison. Les limites restaient, cependant, difficiles à établir à cause de la grande complexité des réseaux caractérisés par :

- **une très forte densité de canaux** et de multiples croisements (imbrication de réseaux d'irrigation) ;
- **un manque d'information fiable** sur la localisation des prises, le débit qu'elles captent, les trajets que les canaux empruntent, les subdivisions, etc. ;
- **de très nombreux transferts** entre bassins, rendant très difficile la compréhension de leur fonctionnement.

Face à ces problèmes, il était indispensable de trouver une unité spatiale avec une définition claire et sensée, et aux limites relativement simples à repérer sur le terrain.

La notion de ZARI tente de répondre à ce problème d'entité spatiale et de limites claires. Sa définition est la suivante :

ZARI : unité spatiale d'organisation du prélèvement, du transport et de l'utilisation de l'eau d'irrigation.

Il s'agit donc d'une zone élémentaire dans laquelle on trouvera les prises, les canaux et les périmètres irrigués. Dans le cas de deux bassins unitaires juxtaposés, la limite correspondra le plus souvent aux rios eux-mêmes, et par conséquent la ZARI sera formée de deux moitiés de bassins unitaires, augmentés d'une partie du bassin de liaison.

Dans d'autres cas, la ZARI sera limitée par une grande ligne de crête et par un rio (simple demi-bassin unitaire) ; parfois, il y aura même correspondance entre le bassin unitaire et la ZARI.

Le fait de prendre comme limites les obstacles naturels adaptés à chaque cas réel, nous laisse penser que la définition de la ZARI sera valable aussi bien dans la *Sierra* que dans la *Costa*.

Il subsistera, malgré tout, quelques transferts entre bassins très éloignés, mais ces cas devraient être en nombre réduit.

5.2. Conséquences pour l'analyse hydrologique

La discordance entre bassins versants et ZARI exigera deux trames différentes pour chaque bassin hydrographique, mais comme chaque type de demande (agricole, hydroélectrique, humaine) est relié au réseau hydrographique par la prise d'eau correspondante, il sera cependant facile de passer de l'un à l'autre.

En revanche, les demandes potentielles devront être affectées à un bassin unitaire pour vérifier la disponibilité en eau et mesurer leur impact en aval.

Lors des études détaillées de terrain sur les ZARI représentatives, on s'intéressera aussi aux bassins versants environnants pour analyser les dépendances propres de chaque prise d'eau.

6. L'EXPLOITATION ET LA PARCELLE

Ces deux dernières échelles ne concernent pas la planification mais sont indispensables aux études de terrain.

C'est à travers des enquêtes sur les exploitations et des observations sur les parcelles que l'on espère obtenir les références techniques nécessaires à l'analyse des ZARI.

Dans chaque ZARI représentative, on choisira un périmètre spécifique, dans lequel on étudiera une ou deux parcelles caractéristiques. Ces parcelles correspondront, dans la mesure du possible, à un champ (ou une portion de champ) occupé par un système de culture bien défini, dont on pourra principalement chiffrer la consommation en eau et la productivité.

L'analyse de ces espaces emboîtés favorisera le transfert des résultats de la parcelle à la ZARI, notamment pour ce qui concerne l'évaluation des besoins et des consommations en eau, et l'estimation des productivités actuelles et potentielles des périmètres irrigués.

IV - LES ÉTUDES DE TERRAIN

1. LE POURQUOI ET LE COMMENT

Les périmètres unitaires et les ZARI constituent des espaces privilégiés puisqu'ils conviennent à la fois aux études techniques (espaces d'aménagement) et au concept de planification (espaces de décision).

Cependant, nous ne pouvons étudier 500 ZARI sur lesquelles nous manquons cruellement des données de base, tant descriptives (localisation, infrastructure...), qu'analytiques (efficacité des réseaux, rendements agricoles, suivis agro-socio-économiques...).

Si donc les études de terrain sont indispensables, elles devront s'effectuer seulement sur un choix de ZARI représentatives, choix, du reste délicat, que nous devons réaliser à partir de données et d'informations hétérogènes.

Restera, enfin, à transposer les résultats obtenus sur le terrain à l'ensemble des ZARI.

L'idée de base est donc la suivante :

- procéder à un regroupement des ZARI en fonction de tous les paramètres descriptifs rencontrés (notamment les résultats d'ORSTOM-PRONAREG) ;
- déterminer sur le terrain les indicateurs caractéristiques du fonctionnement et essayer de les relier à des paramètres descriptifs ;
- transférer ces indicateurs par analyse des éléments descriptifs ou en adoptant les résultats de terrain pour les ZARI apparentées. Ce transfert sera pondéré en fonction des caractéristiques favorables ou défavorables ;
- en cas de financement extérieur, un inventaire systématique des indicateurs serait dressé sur chaque ZARI.

2. LES ÉLÉMENTS DE FONCTIONNEMENT SUSCEPTIBLES DE TRANSFERT

- **Premièrement, la circulation de l'eau**, qui repose sur trois approches : la disponibilité de la ressource à la prise, les performances de l'infrastructure et la sociologie de la répartition de l'eau.

On estimera la première au niveau des bassins unitaires.

On évaluera la deuxième par des mesures d'efficacité sur les canaux d'irrigation principaux.

La troisième constituera, quant à elle, un thème commun à plusieurs disciplines ; on aura recours à des mesures de débits aux points stratégiques et à des enquêtes agro-sociologiques.

- **Deuxièmement, le fonctionnement général de l'agriculture** et ses performances tant physiques (production-rendements) que socio-économiques (production-revenus).

En étudiant les périmètres unitaires des ZARI représentatives, on espère répertorier l'ensemble des principaux systèmes de production actuels, en révéler les dynamismes et les

principales contraintes (approche agronomique à l'échelle d'un échantillon de parcelles et approche socio-économique et historique à l'échelle d'un échantillon d'exploitations).

Les enquêtes expliqueront les stratégies d'utilisation de l'eau en fonction de la structure des exploitations, de leur évolution passée et des objectifs que se fixent les familles concernées : on élaborera alors des comptes d'exploitation qui nous mèneront à ceux des ZARI puis, par transfert, aux comptes macro-économiques indispensables à la planification.

Les suivis de parcelles, réalisés concrètement par des enquêteurs recrutés sur place, serviront à cerner les conditions dans lesquelles s'élaborent les principales productions irriguées de base (maïs, pomme de terre, haricot, riz...).

Les données sur le climat, l'irrigation, l'état de la végétation, l'état du milieu (sur le plan hydrique) et les interventions de l'agriculteur seront prises en compte.

Cette recherche permettra d'instaurer sur le terrain un climat de confiance, autorisant par la suite l'établissement de comptes « plus vrais » que lors de simples enquêtes agro-économiques.

- **Enfin, l'irrigation, comme facteur d'érosion**, sera étudiée en collaboration avec l'équipe ORSTOM-Ministère de l'Agriculture travaillant depuis longtemps sur la question. Des solutions seront testées sur les parcelles expérimentales que cette équipe a déjà installées.

L'importance de cet aspect réside dans le fait qu'en Équateur on irrigue sur des pentes dépassant les 50 % alors que la plupart des manuels de référence excluent tout terrain dont la pente est supérieure à 6 % .

La transposition des résultats ne sera pas chose facile. On proposera donc toujours des fourchettes qui tiennent compte de la réalité. On abordera ensuite l'objectif opérationnel du travail : définir les différents potentiels, les chiffrer en termes de production, de coûts et de bénéfices possibles pour les différents agents intéressés au développement.

V - LES POTENTIELS ET LEUR DÉFINITION

Chaque bassin unitaire comporte généralement plusieurs périmètres unitaires, dans lesquels nous distinguerons quatre types de potentiels.

1. DÉFINITIONS

- **L'extension « externe »**

Le premier potentiel qui vient à l'esprit des aménageurs, c'est d'étendre la superficie irriguée à tout ce qui est potentiellement irrigable.

Définir ce potentiel théorique revient à interpréter les cartes de sols de l'Équateur déjà publiées par ORSTOM-PRONAREG ; cela exige l'appui d'un pédologue connaissant bien le pays et ses cartes.

- **L'extension « interne »**

Le deuxième potentiel, correspondant à l'observation du géographe, c'est d'irriguer les parties délaissées d'un périmètre déjà aménagé.

- **L'intensification agricole**

Le troisième potentiel, qui correspond aux observations de l'agro-économiste, c'est d'augmenter, quand cela est possible, le nombre de cultures par an.

- **L'intensification culturale**

Le quatrième potentiel, correspondant aux observations des agronomes, c'est d'améliorer le rendement de chaque culture.

Il ne s'agit pas cependant de vouloir atteindre les références établies en station agronomique où toutes les conditions sont favorables et les coûts de production et les contraintes de main d'œuvre ne sont pas abordés.

Avec le troisième et le quatrième potentiels, nous tenterons d'établir pour chaque système de culture, en fonction du type d'agriculture (manuelle, attelée, mécanisée et degré d'intégration aux échanges marchands), une productivité agricole potentielle (PAP), réaliste (fourchettes), en poids ou en volume de production.

2. LES POTENTIELS ET LEUR UTILISATION

En réalité, chaque ZARI (ou ensemble de périmètres unitaires) dispose d'une capacité de production complexe, dans laquelle interfèrent les 4 potentiels antérieurs.

Les estimer ne suffira pas pour établir une hiérarchie nécessaire au Plan National d'Irrigation. Il faudra encore passer aux conditions d'extériorisation de ces potentiels, sans oublier que tous les projets ne peuvent être indépendants. La condition de leur indépendance sera celle de la disponibilité en eau et de son coût.

Les conditions d'extériorisation dépendront principalement des comptes économiques des périmètres et des exploitations, qui nous amèneront à définir des conditions impératives (seuils de rejet de projets).

VI - CONCLUSION UN DÉCOUPAGE EN PLUSIEURS OPÉRATIONS

Le projet de recherche pluridisciplinaire ORSTOM-INERHI s'efforcera de présenter les éléments indispensables à la formulation de plans nationaux d'irrigation réalistes, évolutifs, et modifiables en fonction des conjonctures nationales et internationales.

Les efforts porteront principalement sur la caractérisation des dysfonctionnements dans l'irrigation privée, la plus importante, et la plus méconnue.

La variété des situations nous a obligé à élaborer une unité spatiale qui fasse la liaison entre la planification et les diagnostics de situation.

Enfin, le manque crucial de données de base rend nécessaires quelques études de terrain très complètes qui serviront de référentiels techniques aux différents thèmes abordés.

Pour plus de clarté, nous avons divisé ce programme d'étude, très complexe, en une série d'opérations que nous allons présenter avec leurs différentes composantes.

OPÉRATION A

Choix Raisonné des Aires Significatives pour l'Étude des Dysfonctionnements de l'Irrigation Équatorienne — CRASEDIE —

- A₁** Délimitation des zones climatiquement sèches, et leur maillage en unités hydrauliques (bassins versants unitaires)
- A₂** Sélection des ZARI représentatives sur lesquelles se feront les études de terrain

OPÉRATION B

Travaux et Actions Pluridisciplinaires sur l'Agriculture de Terrains Représentatifs de l'Irrigation Équatorienne — TAPATRIE —

- B₁** Délimitation précise des ZARI représentatives, tracé de l'infrastructure, schéma de fonctionnement, choix des périmètres et des parcelles à étudier
- B₂** Travaux pluridisciplinaires au niveau de la ZARI (ensemble des canaux d'irrigation et des périmètres)
- B₃** Travaux pluridisciplinaires sur les unités d'usage du sol et les exploitations
- B₄** Travaux pluridisciplinaires sur les parcelles

OPÉRATION C

Localisation, Organisation et Caractérisation de l'Irrigation Équatorienne — LOCIE —

- C₁ Localisation et organisation structurelle sur la base de la documentation existante et de données obtenues par photo-interprétation
- C₂ Caractérisation fonctionnelle sur la base des données de terrain

OPÉRATION D

L'Eau et sa Gestion Rationnelle : une Aide au Développement de l'Irrigation Équatorienne — EGRADIE —

- D₁ Caractérisation hydroclimatique préliminaire, analyse des données de base, constitution de fichiers opérationnels
- D₂ Calcul des demandes théoriques et confrontation avec la réalité
- D₃ Évaluation de la ressource en eau par modélisation hydro-pluviométrique
- D₄ Bilan entre l'offre et la demande en eau par grand bassin hydrographique

OPÉRATION E

Observatoire des Changements Agricoles et Socio-Économiques dans les Zones Irriguées Équatoriennes — OCASEZIE —

- E₁ Méthodologie du diagnostic sur la répartition de l'eau dans les ZARI, et recherche sur l'amélioration des tours d'eau
- E₂ Dynamiques agraires autour des aménagements hydro-agricoles (perspectives historiques)
- E₃ Détermination des productions agricoles actuelles et potentielles dans chaque ZARI
- E₄ Évaluation *ex-post* d'un projet public d'irrigation, comparaison avec une situation voisine « hors projet »
- E₅ Établissement de comptes macro-économiques par ZARI

OPÉRATION F

Étude Pédologique Orientée vers les Problèmes de l'Irrigation en Équateur — EPOPIE —

- F₁** Caractérisation hydrodynamique des différents types de sol par prélèvements et analyse de laboratoire.
- F₂** Délimitation des zones potentiellement irrigables et constitution d'une banque de données par ZARI et par grand bassin avec leurs caractéristiques précises.

OPÉRATION G

Étude des Phénomènes d'Érosion Liés à l'Irrigation en Équateur — EPELIE —

Étude des paramètres intervenant dans la dégradation des sols sous l'effet d'irrigation mal maîtrisée.

Elle devait être menée en collaboration avec l'équipe ORSTOM-MAG qui travaille sur l'érosion depuis déjà un bon nombre d'années. Elle n'a pu se réaliser mais l'aspect érosion-irrigation reste un thème d'actualité qui devra être analysé un jour ou l'autre.

OPÉRATION H

Traitement des Archives Historiques Relatives à l'Irrigation Équatorienne — TAHRIE —

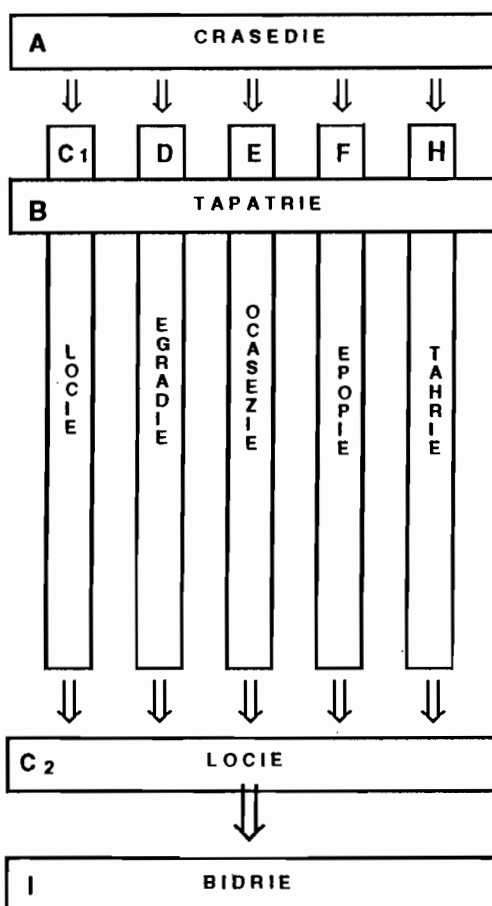
- H₁** Elaboration du catalogue des procès su l'eau et constitution d'une banque de données par bassin avec le résumé de chaque procès.
- H₂** Evaluation du développement spatial de l'irrigation depuis la colonie jusqu'à nos jours, des étapes de construction des réseaux et des changements dans la propriété de l'eau.

OPÉRATION I

Banque Informatisée des Données Relatives à l'Irrigation Équatorienne — BIDRIE —

Rassemblement, sous fichier informatique, des données descriptives et analytiques issues des opérations antérieures et analyse intégrale pour les recommandations.

Ces différentes opérations s'articulent selon le schéma suivant :



Après une première analyse (A) visant à circonscrire les zones d'étude et de terrain, les différentes opérations thématiques (D, E, F et G) s'efforceront de trouver les indicateurs de fonctionnement relatifs à leur domaine, en s'appuyant sur les études de terrain (B), prévues dans les ZARI représentatives.

Elles tenteront ensuite, dans la mesure du possible, de les relier à des paramètres descriptifs facilement accessibles.

La première partie de l'opération C (C₁) rassemblera tous les éléments descriptifs obtenus, par compilation de l'information existante ou par photo-interprétation. Elle aura aussi besoin des travaux de terrain pour vérifier le travail des photo-interprètes et mettre au point l'analyse des images du satellite SPOT.

Le calcul des différents indicateurs se fera dans la composante C₁ de l'opération C ; les manquants seront complétés soit par un inventaire systématique, soit par analogie avec des zones affines.

Enfin, toutes les données antérieures seront organisées à l'intérieur d'une banque informatisée (BIDRIE). Celle-ci devra être conçue pour faciliter les corrections nécessaires et l'échange des informations avec les agences de l'INERHI.

Com :
III ème Séminaire " Aménagements hydro-agricoles
et systèmes de production "
Direction des Systèmes Agraires
DSA/CIRAD, Montpellier, 16-19/12/86, pp 511-518.

NOTES SUR LA THESE DE P. A. MOTHEs, 1986 " PIMAMPIRO'S CANAL : ADAPTATION AND INFRASTRUCTURE IN NORTHERN ECUADOR "

Thesis masters of arts, univ. of Texas, Austin, 247 p.

par Thierry RUF*

RESUME

P.A. MOTHEs est une jeune géographe américaine, élève de G. KNAPP, universitaire américain connu pour ses travaux sur l'histoire des aménagements hydro-agricoles anciens en Equateur. Elle a tenté de rendre compte de l'utilisation d'une ressource rare au nord de l'Equateur, l'eau, à travers une sorte de monographie d'un canal réputé pour son ancienneté (son existence est connue au XVIe Siècle) et qui permet d'irriguer 600 hectares exploités par 400 usagers. L'étude s'appuie sur deux mois de terrain, durant lesquelles elle a suivi systématiquement le parcours du canal principal ("acéquia") et de ses branches, s'entretenant avec les principaux acteurs de la gestion et de l'utilisation de l'eau. Elle a ajoutée aux informations qualitatives des données quantitatives, tests d'infiltration pour apprécier l'efficacité de l'acéquia, et des analyses de sols pour conforter l'hypothèse de l'apport fertilisant de l'eau d'irrigation.

Nota Bene

Dans ce texte, nos commentaires apparaissent en caractères italiques afin de les distinguer des informations apportées dans la thèse de MOTHEs. De même, les figures 1 et 4 reviennent à MOTHEs, tandis que les figures 2,4 & 5 résultent de nos réflexions à la lecture de son texte, lequel constitue plus une description minutieuse des structures et infrastructures qu'une analyse du fonctionnement des systèmes observés.

* Agro-économiste, Mission ORSTOM, Apartado 17.11.06596, Quito - Équateur

1. Situation du "système agraire correspondant au réseau de l'acequia principale, appelée "Acequia del Pueblo".

PIMAMPIRO est une petite ville de la cordillère orientale, au nord des Andes équatoriennes (fig. 1, carte de situation). Le climat sub-humide qui règne sur cette région varie en fonction de l'altitude. La pluviométrie atteint 1000 mm à 3000 m d'altitude, mais tombe à environ 500 mm à 2000 m d'altitude. Elle est répartie en deux saisons des pluies, séparée par une saison sèche très intense de juin à septembre (el verano) et une petite saison sèche en décembre-janvier (el veranillo).

L'acéquia del pueblo passe justement par ce gradient d'altitude 3000-2000 m. En dessous de 3000 m d'altitude, l'ETP mensuelle s'avère pratiquement toujours supérieure aux précipitations. Les formations végétales naturelles se succèdent de la manière suivante:

Altitude > 2900m Pluie > 1000 mm	2900-2500m	2500-2000	2000-1600m <500mm
forêt très humide de montagne	forêt humide de montagne	forêt sèche de basse montagne	forêt sèche de pré-montagne

Deux communautés représentant environ 15000 personnes vivent sur les terres traversées par le canal (fig.2). A la limite de la zone pluvieuse d'altitude, c'est à dire à 3000 m d'altitude, vit la communauté indienne de Mariano Acosta, mais, bien que traversée par l'acéquia, elle ne dispose d'aucun droit d'usage de l'eau sinon à fin de commodités domestiques (fig.2 schéma de situation). L'agriculture pluviale s'est développée au delà de 3000m jusqu'aux limites du Paramo (formation herbeuse de haute altitude). Les indiens de Mariano Acosta ont une production agricole d'auto-subsistance (céréale et pomme de terre) par le fait qu'ils n'ont pas accès à l'irrigation et aux étages inférieurs, là où l'on peut pratiquer une agriculture marchande.

Pour autant, les habitants de cette localité ne vivent pas en autarcie, les hommes recherchant des activités rémunératrices dans de grandes haciendas des vallées environnantes, et peut-être même sur la "costa" (la côte pacifique où s'est développée une économie de plantations agro-industrielles au XXe Siècle).

Très organisés sur le plan politique, fiers d'une certaine autonomie, les indiens de Mariano Acosta n'entretiennent pas de relation suivie avec les habitants de Pimampiro, sinon des relations conflictuelles, car ils souhaiteraient bénéficier de l'eau qui passe aux pied de leurs maisons.

A quinze kilomètres de là, et près de 800 mètres plus bas, les métis indiens de Pimampiro et quelques hacendados ou propriétaires de vastes domaines, se partagent l'eau indispensable à la pratique de l'agriculture.

Organisés en "junte de l'eau" (junta del agua), ils revendiquent pour eux-seuls le droit d'usage de l'eau, s'appuyant sur un texte juridique de 1795 qui délimitait la zone d'irrigation du canal. Là, on cultive toute sorte de plantes, haricots, tomates, petits pois, oignons, concombres, fraisiers, citronniers,...etc, spéculations commerciales par excellence, à coté des cultures plus traditionnelles, le blé, l'orge, le maïs, la pomme de terre, et la canne à sucre.

Ainsi, le système agraire de PIMAMPIRO ne ressemble pas aux types d'organisation répertorié par BRUSH (1977), à savoir le type "archipelago" (organisation de longues migrations pour se procurer des produits n'existant que dans des zones lointaines), le type "extended" (longues vallées sans grand écart d'altitude) ou le type "compressed" (vallées courtes avec forte différence d'altitude, où chaque paysan dispose de parcelles dans les différentes strates de cultures).

A PIMAMPIRO, au contraire, chaque paysan ne cultive qu'à un seul niveau, avec un ou deux champs à moins de trente minutes de chez lui.

Par contre, à MARIANO ACOSTA, chacun voudrait bien cultiver près de chez soi, mais la pression foncière est telle que les jeunes doivent cultiver à plus d'une heure de marche, vers le paramo (1). Nous sommes donc dans le cas de figure où deux communautés distinctes occupent deux étages bioclimatiques différents, mais concomittants. Une rapide analyse historique permet d'éclaircir ce point.

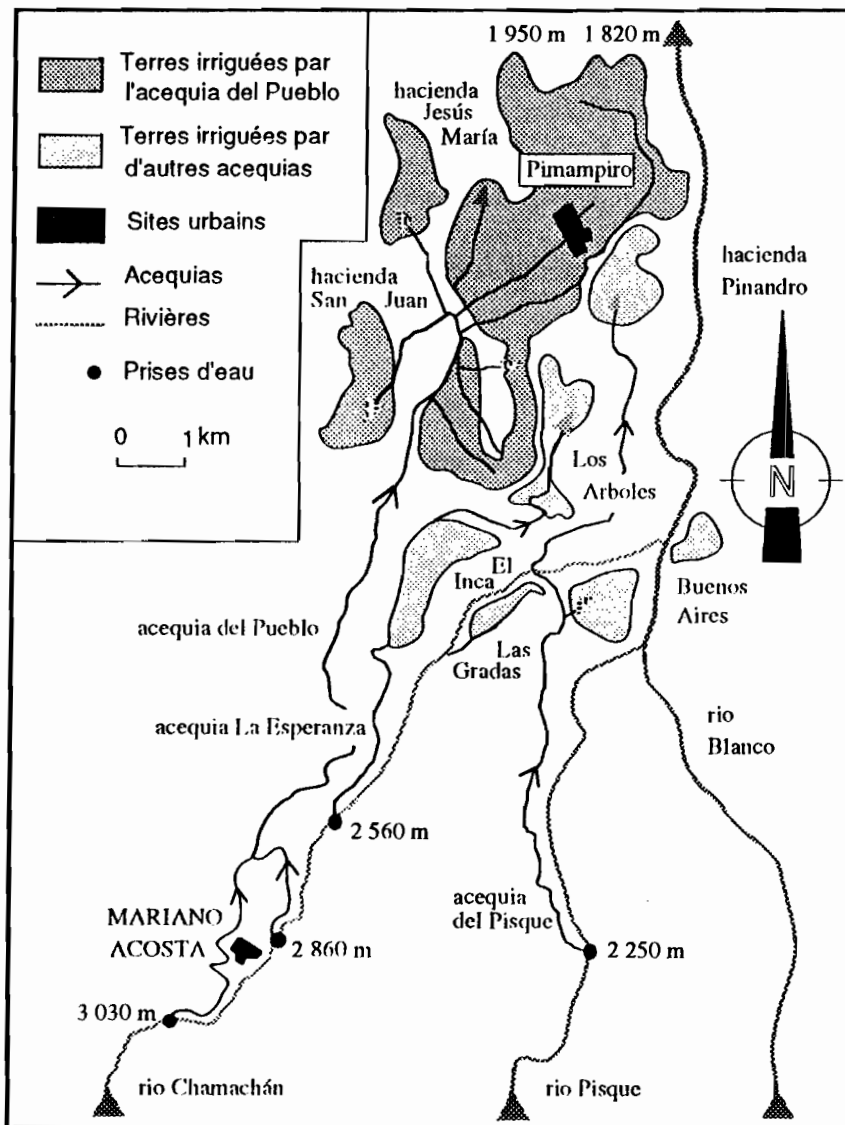
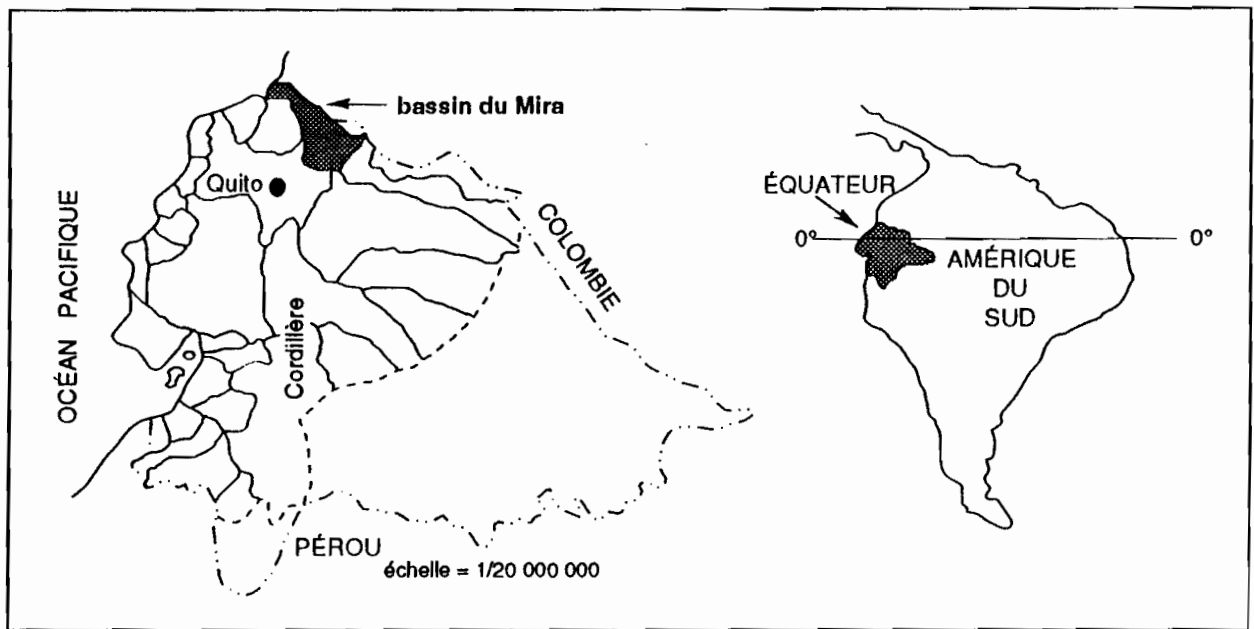


Figure 1
 Carte de situation de la zone irriguée de Pimampiro.

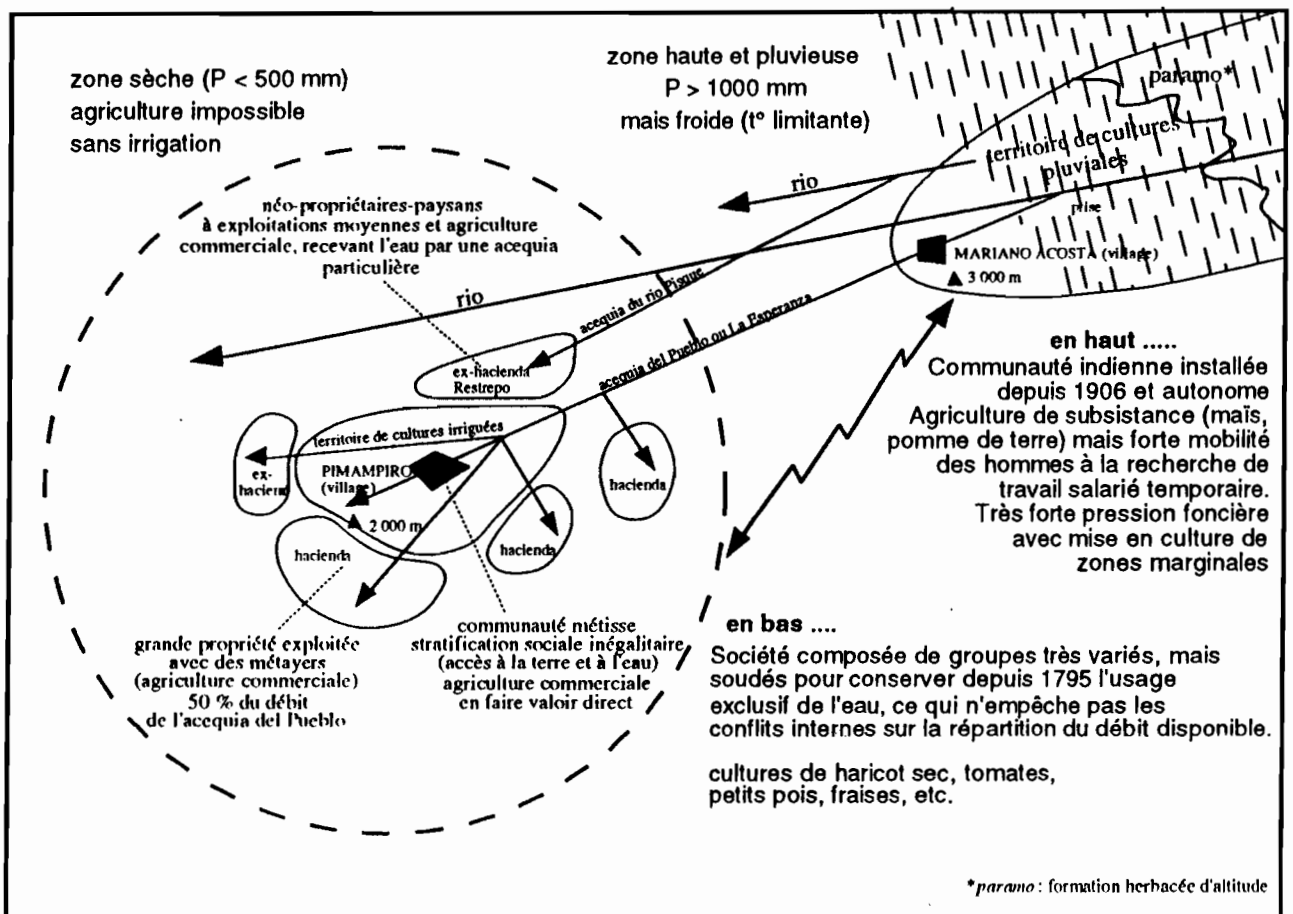


Figure 2 - Représentation de groupes d'usagers différents dans la zone de Pimampiro.

2. Un peu d'histoire

Au XVII^e siècle, les jésuites et les dominicains s'étaient octroyés toutes les terres de la vallée, organisant une migration massive d'onze milles indiens vers la costa où ils périrent de maladies diverses. La population indienne restante, affaiblie, ne pouvait plus fournir de la main d'oeuvre aux religieux. Mais ceux-ci eurent recours à l'importation d'esclaves noirs (Leurs descendants vivent toujours en marge des indiens).

En 1767, les religieux furent expulsés, les terres concentrées dans de grandes haciendas privées. Dès lors, c'est le système bien connu en Equateur des "huasipungueros" (2) et des "partidorios"(3) que mirent en place les hacendados pour exploiter leurs immenses propriétés. Parmi eux, la famille TOBAR parvient à concentrer toujours plus de terre, qu'elle consacre à la grande céréaliculture extensive, jusqu'en 1929 où une succession aboutit au démentellement et à la vente des parts des héritiers à de riches commerçants, parmi lesquels quelques colombiens.

Parmi ces derniers, un dénommé RESTREPO rachète 1945 une hacienda de Pimampiro, ce qui porte l'ensemble de ses propriétés à 9000 hectares. Lui rompt avec le système céréalier extensif. Il se veut résolument moderniste, et partisan d'une agriculture mécanisée. Ces terres ne disposant pas d'assez d'eau d'irrigation, il fait construire une acequia "personnelle" de quinze kilomètres, et introduit la technique de l'aspersion par sprinklers. Profitant du travail d'adaptation de la culture de la tomate réalisée dans la vallée par un italien, RESTREPO en fait sa spéculation principale, lui fournit un label (la tomate Pinandro), et commercialise sa production en Equateur et en Colombie. La demande s'accroît et se diversifie et c'est finalement le haricot sec qui va devenir la spéculation principale à PIMAMPIRO, dans tous les types d'exploitation. Mais RESTREPO fait faillite en 1972 et ses biens sont revendus aux petits paysans, ex-métayers...etc.

Quant à l'hacienda originelle des TOBAR, ou ce qu'il en reste, la réforme agraire l'a remis à une coopérative de paysans. Désormais, il ne reste qu'un seul vraiment grand haciendado, ROMAN, qui a un droit de regard considérable sur l'acequia del pueblo, puisqu'il bénéficie lui seul du quart du débit disponible. Il règne toujours un fort contraste entre les terres morcellées indiennes de PIMAMPIRO et celles des haciendas, quoique les unes et les autres soient irriguées.

Dans ce résumé historique, nous n'avons pas encore parlé de MARIANO ACOSTA. Ces hautes terres avaient été abandonnées au XVII^e siècle, ou peut-être avant. Elles avaient été incorporées dans les biens fonciers des TOBAR, mais en 1906, un mouvement de colonisation indien, provenant de la région sud de la ville voisine d'IBARRA, vint s'emparer de ces terres et s'y maintena malgré les efforts des TOBAR pour l'en chasser. Les conflits entre communautés sont latents, le dernier remontant à 1982, à l'occasion d'une réforme administrative qui faisait dépendre MARIANO ACOSTA du nouveau canton de PIMAMPIRO, alors que les liens d'origine avait fait se rattacher MARIANO ACOSTA à IBARRA. Les ruptures de canalisation d'eau potable et les débordements du canal furent nombreux...

Ainsi, cette petite région, dont l'infrastructure d'irrigation paraît très ancienne, a connu au cours des trois derniers siècles toute sorte de mouvement agrarien (c.a.d. se rattachant à la conquête, l'appropriation, et à la défense de son droit sur la terre), d'origines indiennes, métis d'indiens, jésuites, esclaves noirs, latifundiaires, minifundiaires, indiens reconquérants, grands commerçants, coopérativistes, et petits paysans propriétaires, mouvements que l'on retrouve représentés aujourd'hui dans les deux communautés géographiques, celle d'en haut, celle d'en bas, et qui subdivise surtout celle d'en bas. Pour simplifier, en bas, on est unanime pour revendiquer l'eau et ne pas céder à ceux d'en haut, mais dès lors qu'il s'agit de la gestion de l'eau à PIMAMPIRO, les concurrences entre utilisateurs apparaissent nettement. Avant de voir comment la "junta de agua" fonctionne, et comment elle arbitre les conflits, suivons P.A.MOTHES dans sa description de l'infrastructure.

3. Une infrastructure traditionnelle et modernisée, adaptée.

Il est quasiment impossible de certifier que le canal qui existe aujourd'hui suit exactement les traces du canal répertorié au XVI^e siècle par les premiers explorateurs coloniaux. En effet, le trajet qu'emprunte une voie d'eau passe par des sites particulièrement accidentés, où se produisent fréquemment des glissements de terrain, qui nécessite de promptes interventions et parfois de redessiner le parcours du canal. Entre MARIANO ACOSTA et le début de la zone irriguée, on ne compte pas moins de onze tunnels de quelques mètres à plusieurs dizaines ou centaines de mètres qui permettent d'éviter les secteurs les plus fragiles sur le plan érosif.

De la prise du canal, au dessus de MARIANO ACOSTA, et tout le long de son parcours, la surveillance est assuré par des "aguateros" (c'est l'équivalent d'aygadier ou de conducteur de canal- cf communication sur le canal de MANOSQUE à ce même séminaire), dont les fonctions sont d'assurer quotidiennement, nuit et jour l'arrivée de l'eau dans la zone d'irrigation (Fig.3).

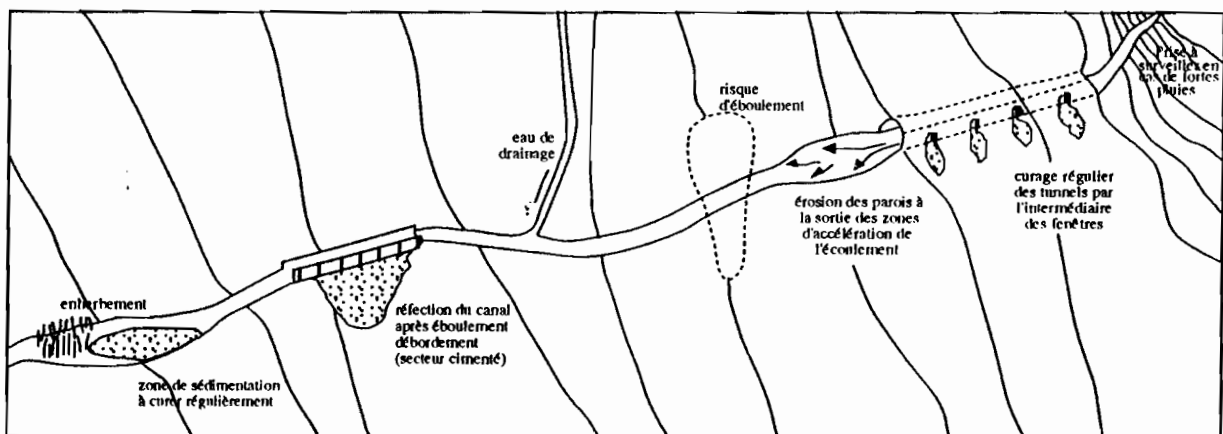


Figure 3 - Evénements et travaux à entreprendre sur le parcours de l'acequia, depuis la prise jusqu'aux premiers utilisateurs.

La prise du canal del pueblo, cimentée depuis 1976, permet de capter environ 130 litres par seconde en temps normal, mais dès qu'une pluie un peu forte intervient, l'aguatero responsable doit s'y rendre et régler l'entrée de l'eau torrentielle, afin de ne pas surcharger l'ouvrage.

Le canal reçoit en aval de MARIANO ACOSTA un apport supplémentaire qui porte son débit à environ 200 litres par seconde. Si, tout au long des quinze kilomètres de parcours, quelques infiltrations se produisent çà et là, elles sont compensées par de petits apports, souvent sous forme d'eau de drainage des paramos ou de quelques parcelles isolées situées au dessus de l'acequia.

Le canal del pueblo comporte aussi quelques secteurs cimentés correspondants aux zones ayant subies un démarrage d'érosion en forme de loupe, très caractéristique des Andes équatoriennes. Si le sol s'imbibe trop longtemps, il s'alourdit, et finit par glisser sur un sous-sol imperméable, appelé "cangahua" (littéralement mauvaise terre en quichua).

En définitive, l'infrastructure maîtresse paraît ancienne, mais les interventions constantes et la modernisation de 1976 lui assure une relativement bonne efficacité. Selon MOTHES, bien des canaux des Andes ne fonctionnent pas aussi bien (4).

Ainsi, la moitié du débit parvient aux haciendas privées (et à la coopérative) et l'autre est réparti entre les paysans en faire valoir direct. Dans ce dernier cas, chaque acequia secondaire sont dotées d'un débit continu depuis 1976 de six litres par seconde, et le tour d'eau est organisé entre ses utilisateurs (fig.4). Chacun a droit, selon un règlement établi par la "junta de agua", à prélever tous les sept jours et à heure fixe, le débit de six litres par seconde pendant une durée donnée, mais non choisie. Ce temps dépend en particulier du statut acquis, des droits d'eau hérités, éventuellement de locations d'heure d'irrigation par une personne n'irriguant pas. A l'heure dite, et sous le contrôle éventuel de l'aguatero, l'irriguant obstrue l'acequia secondaire par une "chamba", simple touffe d'herbes, et l'eau se dirige vers sa propriété.

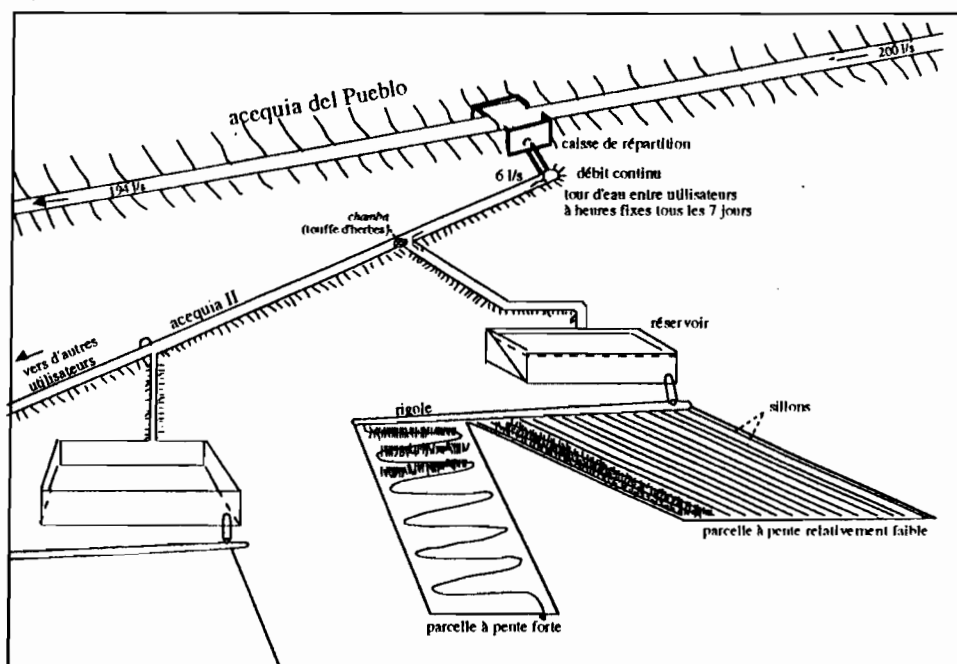


Figure 4 - Infrastructure et tour d'eau sur une acequia secondaire.

Ce qui apparaît original à PIMAMPIRO, cela n'existe pas ailleurs, ou alors dans un nombre de cas faible par rapport aux autres irriguants, c'est la présence quasi-systématique d'un réservoir intermédiaire creusé dans la cangahua, lequel permet généralement de stocker sa dotation et d'étaler son irrigation. La chose est d'autant plus importante que la périodicité de sept jours (et non 150 heures comme sur le canal de MANOSQUE) oblige la moitié des paysans à recevoir l'eau pendant la nuit (5). Le réservoir facilite grandement le travail, en permettant le report de l'irrigation à l'aube.

Enfin, l'eau parvient aux parcelles. Elles sont toutes en pente plus ou moins forte, entre 10 et 40 %. Selon l'importance de celle-ci, le paysan choisira de façonner des sillons d'irrigation parallèles dans le sens de la pente, parfois en respectant peu ou prou les courbes de niveau, et si elle est vraiment trop forte, il adoptera un système spectaculaire d'irrigation en serpantins.

4. La réglementation, les conflits et les arbitrages.

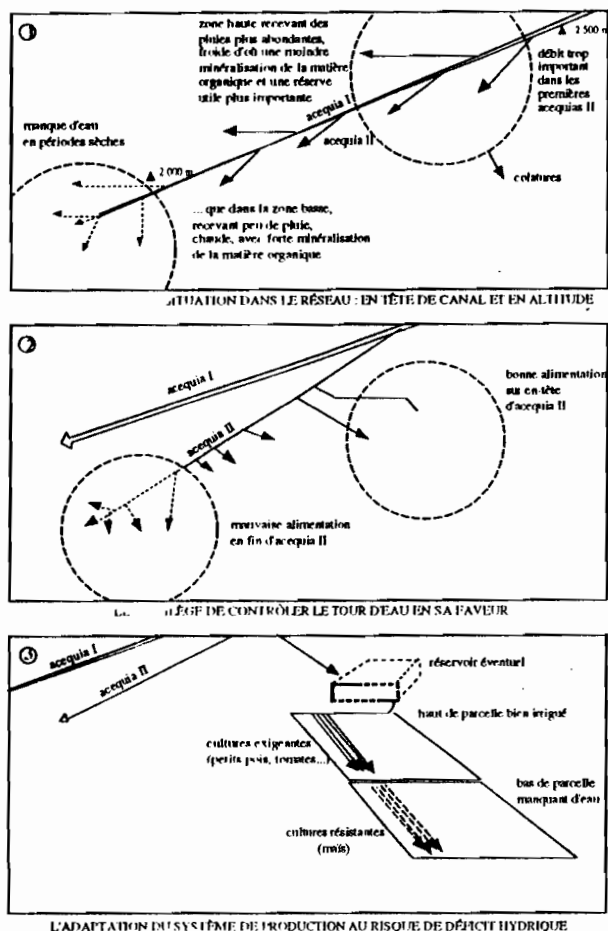


Figure 5 - Trois échelles d'analyse de la répartition de l'eau et du manque d'eau.

Enfin, le manque d'eau doit être appréhendé à l'échelle de l'exploitation et de ses parcelles, afin de comprendre comment les paysans gèrent le déficit. Il faut rappeler à ce sujet que le débit disponible n'est que de 200 litres par secondes alors que 600 hectares sont irrigués: ce qui signifie que le débit disponible est en moyenne de 0,33 litre par seconde et par hectare.

On est loin du débit fictif continu d'un litre par seconde et par hectare généralement retenu comme valeur correspondant aux besoins des plantes en phase de pleine végétation. Il est vrai qu'en situation andine, les besoins pourraient être moindre, de l'ordre du demi-litre par seconde et par hectare. Il n'empêche que beaucoup de paysans manquent d'eau.

Le cadre 3 de la figure 5 montre, à titre d'exemple, une des possibilités de réagir: il adapterait son système de production en choisissant un système de culture exigeant sur la partie haute de ses champs, et un système de culture résistant à la sécheresse sur la partie basse. (ceci vaut à titre d'hypothèse personnelle).

A PIMAMPIRO, le premier cas (cadre 1, fig.5) a théoriquement été éliminé par la réhabilitation de 1976, faite avec l'appui de l'INERHI. Chaque acéquia secondaire reçoit un débit continu normalement équivalent à 6 litres par seconde.

Lorsque l'on parle de réseau comme celui de PIMAMPIRO ou comme celui de MANOSQUE, l'attention doit se porter sur la réalité de l'arrivée de l'eau.

On peut distinguer trois échelles d'analyse de la répartition de l'eau...ou plutôt de celle du manque d'eau (fig.5).

Il y a d'abord le privilège de la situation de l'irriguant dans le réseau tout entier (cadre 1).

Souvent les débits des distributeurs (acequias secondaires) sont bien supérieurs en tête de réseau qu'en queue.

Mais dans le cas andin, ce privilège s'accompagne d'un autre avantage: celui d'être à une altitude plus élevée, donc bénéficier de pluies plus abondantes, et d'une réserve utile théoriquement supérieure à ce qu'elle peut être plus bas.

La deuxième échelle d'analyse concerne le groupe du tour d'eau.

Là aussi, la situation sur l'acéquia secondaire joue dans un sens favorable ou défavorable (cadre n°2).

La réalité laisse apparaître deux sources d' "erreurs". Ce qui est constant est le diamètre du tube de prise de l'acequia secondaire, mais si la charge varie dans le canal, le débit aussi. De temps à autre, les aguateros sont obligés de retirer de grosses pierres dans les caisses de répartition, tombées là pour justement accroître la charge et par conséquent le débit (il y a d'autres manières d'y arriver en déversant des débris de plastiques ou des feuilles qui obstruent les grilles...etc).

Mais il faut souligner que ce type de détournement reste limité et sans conséquence facheuse. Si on observe bien le réseau du canal del pueblo, contrairement au "modèle", ce sont les utilisateurs "du bas" qui s'adjugent le plus de débit, mais pas n'importe lesquels: les propriétaires d'hacienda (ou la coopérative) ont pris la meilleure part.

Le deuxième cas existe fréquemment: il s'agit de conflit de voisinage qui se traduisent par le non respect des heures, et concrètement, par le fait qu'un utilisateur perd beaucoup de temps à remonter l'acequia pour retirer la "chamba" du récalcitrant. Ce genre de problème est arbitré à chaque réunion hebdomadaire du "conseil d'administration du canal", autrement dit de la "junta de agua".

Il s'agit d'une structure de gestion juridiquement voisine de notre "association-loi de 1901. Les membres sont les irrigants. Ils élisent le président, le trésorier,...etc.

Chaque semaine, les dirigeants de la junta écoutent le rapport de l'aygadier-chef et abordent les questions soulevées par les irrigants présents (en général pour un conflit). Par ailleurs, une réunion annuelle permet de fixer les dates et le nombre de participants aux travaux d'entretien du canal (en général, 400 personnes mobilisées 4 ou 5 jours).

Hormis cette mobilisation en force de travail (6), la junta fait payer une redevance fixée à 36 sucres (7) par tranche d'une heure d'utilisation pour les paysans, à 56 sucres pour les haciendas, ce qui permet de payer les aygadiers et de faire face aux dépenses usuelles. Ce coût de l'eau est très marginal dans la structure des dépenses des paysans (une grossière estimation donne environ 2 % du produit brut).

Chaque irrigant payant en moyenne 1250 sucres environ, cela correspond à cinq journées d'ouvriers agricoles journaliers, mais si l'on tient compte de la mobilisation en travail, c'est l'équivalent de dix journées de travail que donne un paysan pour disposer de l'eau sur un hectare et demi ou deux hectares (8).

5. De la solidarité à la stratification socio-économique.

Malgré ce relatif bon fonctionnement, MOTHES souligne que la solidarité n'est pas de mise. En dehors de son terrain, le paysan ne s'intéresse pas au canal, du moins de manière quotidienne. Les aygadiers se plaignent de cette situation, car de multiples petits gaspillages s'ajoutent, et il faut attendre leur intervention, alors qu'un paysan ou un autre, situés à proximité de la fuite, pouvaient rapidement y remédier.

Il est vrai que cette solidarité ne peut s'exprimer que dans un cadre social difficile, tant les groupes en présence sont historiquement concurrents. Si la réhabilitation a gommé certains abus de situation, les privilèges ont été maintenus, comme en témoigne la grande disparité des heures d'accès à l'eau, d'une part entre paysans et haciendas, d'autre part au sein du monde paysan. Il ne s'agit pas de différences mineures.

Dans un cas, l'irrigant peut se permettre de cultiver en saison sèche, même si les plantes souffrent et que le rendement est inférieur à ce qu'il pourrait être en saison de culture normale, c'est à dire centrée sur l'hiver et le printemps pluvieux. Le fait de décaler fortement le cycle de culture permet d'obtenir une production au moment où les cours sont les plus élevés.

Par contre, ceux qui ne disposent pas d'heures suffisantes pour tenter la culture d'été n'obtiennent pas de revenus importants.

Ainsi, les haciendas et les paysans-commerçants de l'ex-hacienda RESTREPO, auxquels s'ajoutent les paysans riches du village de PIMAMPIRO arrivent-ils à pratiquer deux cultures annuelles, au moins sur une partie significative de leurs propriétés. Les autres attendent le retour des pluies en Octobre pour semer toute leur superficie (9). Un autre élément entre en ligne de compte pour expliquer cette différenciation: ce serait le manque de force de travail dans les petites exploitations qui rendrait difficile le passage à la double culture, car il faut récolter vite, débarasser la parcelle et la préparer sans retard pour la culture suivante.

Cette rapidité d'exécution nécessiterait le recours aux journaliers agricoles, et par conséquent une trésorerie adéquate.

6. La contribution de l'acequia del pueblo au fonctionnement des systèmes de production.

La première contribution s'avère bien évidemment celle de la fourniture de l'eau dans un étage bioclimatique déficitaire. Mais MOTHES construit une partie de sa thèse en soulignant l'"efficacité" de l'infrastructure traditionnelle sous la forme de la fonction fertilisante de l'eau d'irrigation.

Cette hypothèse n'est pas nouvelle (10), mais l'argumentation de MOTHES ne paraît pas totalement convaincante, en particulier parce qu'elle ne détaille pas tous les éléments constitutifs de la fertilité dans ces systèmes de production, et de leur évolution historique.

Elle se base d'une part sur des analyses de limon recueilli dans le fond des réservoirs (limon effectivement utilisé par les paysans comme un amendement) et d'autre part sur des analyses de sols prélevés sur des parcelles de culture sèche jamais irriguées et sur des parcelles soumises depuis longtemps à l'irrigation.

Or les systèmes de cultures sont historiquement très anciens, très différents, et l'état actuel des sols dépend de l'histoire des interventions en matière de reproduction de l'écosystème cultivé. Les agriculteurs n'y ont pas développé de la même manière les techniques de fertilisation, qu'elles soient basées sur le limon des réservoirs, ou sur les autres éléments dont on peut supposer qu'ils ne jouent pas un rôle secondaire: l'association entre l'agriculture et l'élevage, au moins sous la forme de paccage sur les chaumes, de parcage nocturne sur les parcelles privilégiées ou de déplacement d'animaux au piquet, mais encore l'enfouissement des résidus de cultures (11) et l'usage régulier d'engrais chimiques, tous ces moyens étant réservés à la culture irriguée.

Conclusion : la problématique générale de la production agricole dans un secteur mixte, zone irriguée et zone sèche.

En reprenant les techniques de fertilisation, nous pouvons élargir le champ d'investigation à l'échelle du bassin versant. A 3000m d'altitude, c'est à dire à l'origine des flux de l'eau d'irrigation et des éléments fertilisants associés, les agriculteurs indiens exercent une agriculture pluviale sur des sols relativement argileux, riches en matière organique, et dont la capacité de rétention semble importante.

Or cette caractéristique apparaît comme une forte contrainte, car l'alourdissement des sols entraîne presque irrémédiablement un glissement sur le sous-sol plus ou moins imperméable et une érosion parfois spectaculaire en forme de "loupes".

Ainsi nous ferons l'hypothèse suivante: les indiens de MARIANO ACOSTA doivent contrôler les processus érosifs, mais, comme ils ne disposent comme moyens de fertilisation que de la fumure animale, celle-ci maintient la forte rétention de l'eau dans le sol; retenir l'eau pour la plante (les pluies sont irrégulières), fumer pour la "nourrir", mais aussi drainer pour éviter les excès sans retirer trop d'eau à la plante, telles sont les différentes composantes de la gestion de l'eau au niveau de l'agriculture de haute montagne sur des pentes fortes dépassant souvent 25 ou 30 %.

Selon les expériences des uns ou des autres, on jouera sur l'installation de fossés de drainage dans le sens de la plus grande pente, ou sur la disposition des sillons en général intermédiaire entre la plus forte pente et la courbe de niveau.

Telle est donc la problématique générale de la production "en haut", face à l'alternance d'excès de pluies et de sécheresse marquée.

"En bas", cette problématique évolue au fur et à mesure que le danger d'excès de pluies s'estompe.

A 2000m, les sols sont moins argileux, moins profonds, à faible taux de matière organique et très sensibles à la sécheresse (faible réserve utile).

Cependant, on retrouve cette notion d'équilibre entre la saturation et le déficit hydrique, mais à un niveau plus fin, celui de l'exploitation, selon la disposition des parcelles, leurs pentes, et l'accès à l'eau d'irrigation en quantité suffisante ou insuffisante.

Là, la problématique de la production concerne le partage de l'eau (s'approprier le maximum de cette ressource tant que c'est admis par les autres utilisateurs), acquérir les éléments fertilisants (limon, fèces, résidus, engrais minéraux) pour compenser les exportations importantes dues aux systèmes de cultures intensifs (12).

NOTES

- (1) Dans le détail, certaines familles en haute altitude tentent d'obtenir des parcelles en location à moindre altitude, mais toujours dans la zone non irriguée. Ainsi, telle famille installée depuis trente ans à 3300 m d'altitude a pu louer deux hectares à 2700m d'altitude et y cultiver avec une certaine réussite du blé qui vient bien à maturité à cet étage intermédiaire.
- (2) Huasipungero: il recevait l'usufruit d'une parcelle de deux ou trois hectares, parfois plus, et devait travailler quatre ou cinq jours par semaine pour le compte du propriétaire de la terre: il recevait alors un salaire nettement inférieur à celui du marché.(definition de FAUROUX E.,1983. Les transformations récentes des grandes exploitations agricoles dans la Sierra et la Costa de l'Equateur. In: Cah. ORSTOM, ser. sci. hum., vol.XIX n[1, pp 7-22)
- (3) Partidorio: métayer recevant une part variable de récolte.
- (4) Mothes signale une petite acequia voisine, las gradas, très mal gérée, avec beaucoup de fuites et une grande mésentente entre les utilisateurs, grand propriétaire et partidorios.
- (5) Une année sur deux.
- (6) Les haciendas envoient des journaliers, les paysans peuvent se faire remplacer.
- (7) monnaie équatorienne. En 1985, le sucre valait environ 10 centimes français mais en 1986 il ne vaut plus que 4 centimes.
- (8) Il faut bien sûr ajouter le temps consacré chaque semaine à l'accompagnement de l'eau jusque dans les sillons, l'entretien du réservoir, son curage...etc.
- (9) Dans certains cas, on observe des locations d'heures d'irrigation non utilisées.
- (10) On attribue cette fonction aux petites rigoles d'irrigation ancienne des prairies naturelles en zone de montagne, comme par exemple dans le Ségala aveyronnais (voir SALLES J.M., WOLF C.,1985 - Contribution à l'étude de l'agriculture du Ségala: une analyse de son développement. mémoire DAA. CDAS, DSA-Cirad, ENSAM INAPG. 150p environ). Voir également dans la bibliographie FEDERES (1983).
- (11) Dans un site voisin de Pimampiro, nous avons été témoin de pratiques très élaborées d'enrichissement du sol sous diverses formes au point de pouvoir parler de "cultures de case" à proximité des habitations. On trouve également des "transferts de fertilité" (achat de paille provenant de champs céréaliers extensifs en culture pluviale). RUF Th.-tournée sur le terrain avec De NONI G., COUJOLLES A. & I.,août 1986)
- (12) S'ajoute à cela la lutte phytosanitaire qui prend des proportions importantes tant sur le plan des pertes de récoltes que sur celui des coûts en travail et en intrants.

BIBLIOGRAPHIE

Pour en savoir plus sur l'irrigation dans les Andes équatoriennes.....extrait de la bibliographie de MOTHES (thèse)

BASILE David, 1974.

Tillers of the Andes: farmers and farming in the Quito Basin. Studies in Geography n[8, Univ.of North Carolina at Chapel Hill.

BRUSH steven B., 1977.

Moutain, field and family: the economy and human ecology of an andean valley. Univ.of Pennsylvania Press. Philadelphia.

Di VICENZO Janet D., 1984.

Middlemen and peasants in PIMAMPIRO: changing market relations in a highland ecuadorian canton. Unpublished thesis. Latin American Studies. Univ;of Texas, Austin.

FEDERES E., 1983.

Short and long term effects of irrigation on the fertility and productivity of soils. IN: Nutrient balances and the need for fertilizers in semi-arid and arid regions. Proceedings of the 17th colloquium of the International Potash Institute held in Rabat and Marrakesh. Marroco. International Potash Institute, Bern, Switzerland, pp283-304

INERHI. 1985.

Unpublished datas from a memorandum in the Pimampiro file folder. INERHI office files, Ibarra, Ecuador.

KNAPP Gregory, 1984.

In search early canals in the equatorial Andes. Paper presented at the annual meeting of the association of american geographers.

MOTHES Patricia A., 1986.

Pimampiro's canal: traditional irrigation in Ecuador. Paper presented at the annual meeting of the association of american geographers. May 3-7, Minneapolis.

PRONAREG-ORSTOM, 1982.

Elementos basicos para la planification de la irrigación en el Ecuador: el agua con fines de riego, provincias de Carchi y Imbabura. Ministerio de Agricultura y Ganaderia (MAG), Quito.

Com :
III ème Séminaire " Aménagements hydro-agricoles
et systèmes de production "
Département Systèmes Agraires
DSA/CIRAD, Montpellier, 16-19/12/86, pp 519-523.

L'ETAT ET L'IRRIGATION EN EQUATEUR, HISTOIRE, PROBLEMES ACTUELS ET EXEMPLE DU SYSTEME : LATACUNGA - SALCEDO - AMBATO

par Hugo RIBADENEIRA*

* Directeur du Plan National d'Irrigation, INERHI, Juan Larrea 534, Quito - Équateur

La République de l'Équateur est située sur la côte occidentale de l'Amérique du Sud. Elle s'étend entre les parallèles 1°30' de latitude nord et 4°30' de latitude sud, entre les méridiens 75° et 81° de longitude ouest.

La superficie totale du territoire est d'un peu plus de 281 000 kilomètres carrés, comprenant quatre régions clairement définies : la région amazonienne (Oriente), les Andes (Sierra), la côte Pacifique (Costa) et la région insulaire (Galápagos).

Seuls 22 % du territoire sont consacrés à l'agriculture proprement dite, le reste étant constitué principalement par les forêts vierges ou les paramos d'altitude (formation herbacée de haute montagne) (fig. 1).

Usages du sol	Milliers d'ha	% total	% sup.agric.
Superficie cultivée	1 730	6,2	28,0
Forêts artificielles	25	0,1	0,4
Superficie toujours en herbe	4 433	15,7	71,6
Total superficie agricole	6 188	22,0	100,0
Forêts naturelles, paramos	21 994	78,0	

Fig. 1 - Usage actuel du sol en Équateur (Source : Ministerio de Agricultura y Ganadería.)

Sur les 1 730 000 hectares cultivés, on estime qu'environ 550 000 hectares sont irrigués, parmi lesquels quelques 120 000 le sont dans le cadre d'un projet étatique.

On y cultive une très grande variété de plantes annuelles ou permanentes, dont la production est destinée soit au marché national, soit à l'exportation.

Nous allons voir dans quelles conditions se sont développées ces diverses agricultures irriguées.

1. Le climat et les ressources hydrauliques : une répartition inégale des pluies et des débits dans l'espace et le temps.

Sur un plan général, l'Équateur est un pays doté d'un grand potentiel hydraulique.

Les deux versants andins, l'oriental amazonien comme l'occidental pacifique, possèdent de grands bassins hydrographiques collectant apparemment une quantité d'eau largement suffisante pour satisfaire la demande humaine.

Cependant, la grande variabilité des ressources hydrauliques dans le temps et dans l'espace induit de graves problèmes d'approvisionnement marqués par des successions de sécheresse et d'inondations.

Les bassins orientés vers le Pacifique offrent un débit annuel global de 115 000 Hm³, tandis que ceux qui alimentent l'Amazonie donnent 315 000 Hm³.

La pluviométrie annuelle atteint 2274 mm, mais en réalité, alors que les versants andins, pacifique et amazonique reçoivent à altitude moyenne plus de 5 000 mm, certaines zones du couloir interandin ne disposent que de 400 mm, tandis que l'on trouve sur la côte pacifique des secteurs à moins de 200 mm.

L'évapotranspiration potentielle annuelle dépasse 1 500 mm dans la Costa, elle n'est pas inférieure à 800 mm dans la Sierra (valeur indicative probablement sous-estimée faute de formules tenant compte de l'altitude).

La Cordillère des Andes constitue une zone de transition climatique, il y existe deux régimes pluviométriques dépendant de son orographie :

- le régime occidental caractérisé par la concentration des pluies entre décembre et mai, et par une grande sécheresse le reste de l'année,
- le régime oriental qui, au contraire du premier, ne connaît pas de sécheresse, mais une répartition presque uniforme des précipitations (avec un maximum en juin, un minimum en décembre).

Ces différences existent bien entendu au niveau des débits des cours d'eau.

Enfin, le pays connaît une grande variété de régimes de températures, avec des zones de la Costa dont les maximums dépassent 41°C, des sites de la Sierra frappés par le gel. La température moyenne de la Sierra est de 15°C, celle de la Costa 25°C.

2. Le développement de l'irrigation dans le pays, une histoire ancienne, mais une intervention récente de l'État.

En liaison avec l'irrégulière distribution des pluies, l'irrigation a été pratiquée en Équateur depuis déjà longtemps, bien que dans le cadre d'aménagements de faible amplitude.

Quelques secteurs, en particulier dans la Sierra, ont connu l'irrigation dès le début de l'époque coloniale. Avant même cela, il semble que les Quitus, anciens habitants vivant aux alentours de l'actuelle capitale Quito, aient su, dès le début de l'ère chrétienne, organiser un système d'administration de l'eau. Les Incas, qui dominèrent la zone interandine de l'actuel Équateur entre les années 1460 et 1534, durent établir un réseau appréciable de canaux d'irrigation dont il reste encore ça et là quelques vestiges.

Les colonisateurs espagnols détruisirent une bonne partie de ces ouvrages, ou bien les utilisèrent à leur profit. Mais, pratiquement tous les ouvrages qui fonctionnent aujourd'hui dans le pays ont été établis à l'époque de la République, c'est à dire durant le XIXème et le XXème siècle.

L'importance des ouvrages d'irrigation dépendait alors de la situation économique du propriétaire qui les faisait construire, et qui se trouvait également propriétaire de l'eau et du système de distribution.

C'est ainsi que bon nombre de propriétaires vendaient l'eau, ou la louaient à des prix et des conditions fixés par eux seuls, exploitant ainsi les agriculteurs. On trouvait même des propriétaires qui ne possédaient pas de terres mais toute l'eau, et qui firent fortune.

Cette situation changea au moins sur le plan légal à partir de 1972 : la loi sur les eaux décréta que l'eau, sous quelque forme que ce soit, était patrimoine de l'État, et que son administration revenait à l'INERHI (Instituto Ecuatoriano de Recursos Hídricos).

En fait, l'intervention étatique sur l'irrigation remonte au début du XXème siècle, et se cristallise dans la première loi sur les eaux de 1936, qui tentait de créer des bases juridiques à une meilleure répartition des ressources hydriques.

En 1944, une loi complémentaire, la loi d'irrigation et d'assainissement, donnait à l'État le pouvoir de réaliser des ouvrages d'intérêt public, à travers la création d'une première institution : la Caisse nationale d'irrigation.

Cette institution, qui précéda l'actuelle INERHI, ne reçut pourtant pas d'attribution nationale en matière de planification et de contrôle de l'usage des eaux. En fait, elle se comporta comme une simple entreprise publique de construction, et en se préoccupa jamais de l'agriculture ni du développement en général.

Ce n'est qu'en 1966 que fut créé l'INERHI avec l'intention de lui donner d'une part la fonction d'administration de l'eau sous ses aspects techniques et juridiques, et d'autre part, le soin de définir l'accès aux ressources hydrauliques. En complément, l'INERHI doit formuler un plan national d'irrigation qui devra être accompli par l'État, par des organismes publics ou privés, dont l'INERHI.

Avant la création de l'INERHI, des structures de développement régionales s'étaient constituées afin de promouvoir des aménagements hydro-agricoles propres, et certaines fonctionnent aujourd'hui encore :

- le CREA (Centro de Recuperación Económica del Austro) qui regroupe les provinces d'Azuay, Cañar, et Morona Santiago,
- le CRM (Centro de Rehabilitación de Manabí),
- la CEDEGE (Comisión para Estudio y Desarrollo de la Cuenca del Guayas),
- le PREDESUR (Programa de Desarrollo Regional del Sur del Ecuador).

Il faut souligner que l'on trouve quelques uns des principaux aménagements du pays gérés par ces structures.

Par ailleurs, des particuliers ont construit, à leur initiative propre, un grand nombre d'ouvrages allant de simples petits canaux ayant une prise rudimentaire dans un rio à des systèmes de plus grande ampleur, comme dans le cas des grandes exploitations agro-exportatrices. C'est ainsi qu'au moins les deux tiers de la superficie irriguée du pays correspondent à des aménagements réalisés sans aucune intervention étatique.

Au cours du XXème siècle, on note une très forte progression des superficies irriguées, particulièrement dans les trente dernières années (fig. 2) où elles auraient pratiquement quadruplé.

Année	Superficie agricole (milliers d'ha)	Superficie irriguée
1900	550	40
1954	2080	112
1971	3800	117
1981	5820	426
1986	6190	555

Figure 2 - Évolution des superficies agricoles et irriguées en Équateur (comprises les prairies et forêts artificielles)

3. Les problèmes de l'irrigation en Équateur : des aménagements au coup par coup

Ainsi, les aménagements existant actuellement n'ont jamais été entrepris en suivant une planification nationale. Les solutions adoptées dans chaque site n'ont pas toujours été les meilleures, tant sur le plan technique que sur le plan économique. Les résultats sont décevants au niveau des rendements agricoles comme au niveau du surplus de commercialisation.

L'INERHI essaie de traiter ces problèmes à travers son département du Plan National d'Irrigation et de Drainage.

Avant lui, aucune institution publique n'eut telle charge, si bien que certaines des décisions de création de périmètres irrigués correspondaient à des pressions politiques, sans que soit tenu compte de priorités ou de rationalités, ne serait-ce que par rapport aux disponibilités en eau.

Par ailleurs, en dépit du changement positif de ces décennies, l'État n'a pas porté toute l'attention nécessaire au secteur irrigué en matière d'investissement, à l'époque de la Caisse nationale d'Irrigation comme durant une bonne partie de l'existence de l'INERHI.

Malgré tout, l'effort récent entrepris notamment à travers les organismes de développement régionaux, donne au pays quelques aménagements de grande envergure.

Ainsi, jusqu'au début des années 1970, les principaux problèmes furent les suivants :

- absence d'un plan à long terme, défini au niveau national (de là découlent les autres problèmes),
- commencement des travaux avec de faibles ressources économiques, et dispersion des programmes au sein de structures sans compétences techniques adéquate, ayant tendance à agir sans coordination,
- décisions subjectives, ou sous l'effet de pressions politiques, aboutissant sur des chantiers ne reposant sur aucune étude sérieuse,
- absence de fondement juridique jusqu'à la loi de 1972 pour faciliter l'action de l'État,
- répartition foncière inadéquate,
- absence d'assistance technique et de crédit pour créer les conditions favorables au développement des périmètres irrigués,

- structures de commercialisation inadaptées, etc...

A partir de 1970, on note une certaine tendance à corriger quelques uns de ces défauts, en particulier dans la nouvelle approche par "projet de développement intégré" (sous financement international) où l'irrigation est simplement considérée comme un moyen et non une finalité de développement. D'autres changements ont contribué à l'amélioration de la situation de l'irrigation dans le pays.

Hormis l'accroissement des investissements publics et la création d'une planification nationale, on note une certaine redistribution foncière (effets de la réforme agraire), le rôle plus important de coopératives dans la commercialisation, la régularisation de l'approvisionnement de certains périmètres par l'établissement de barrages réservoirs, et d'une manière générale la prise de conscience dans le pays de l'intérêt de l'irrigation et de la nécessité de la promouvoir.

4. Un exemple de réalisation étatique : le projet Latacunga - Salcedo - Ambato

4.1. Présentation

La zone irriguée comprend 8400 hectares situés dans le couloir interandin, à cheval entre la province de Cotopaxi et celle de Tungurahua. Elle appartient au complexe orographique formé par les volcans Illinizas et Cotopaxi au nord, et Chimborazo au sud.

Les ressources hydriques du projet proviennent d'un bassin de 1165 km² que drainent, entre autres, les rivières Cutuchi et Pumacunchi, fournissant suffisamment d'eau aux 8400 hectares prévus, au moins pendant les saisons des pluies (NB il faut quand même irriguer durant ces périodes !).

Les prises dans les deux rivières apportent respectivement 3,5 et 1m³/s. L'eau parvient aux utilisateurs à travers 37 km de canal maître (14 km de tunnels, 5 aqueducs). Le réseau de distribution comprend 236 km de canaux et siphons (ces derniers apportent de l'eau à de petits plateaux qui n'avaient jamais connu l'irrigation).

La zone intéressée est constituée de terrains plus ou moins ondulés, mais 66 % de la superficie dominée par le canal peut-être irriguée dans des conditions favorables, le reste devant être réservé à la reforestation ou au pâturage. Le régime pluviométrique apparaît bien sec puisque la pluviométrie moyenne est de 476 mm. La température moyenne mensuelle est à peu près constante : 13°C.

Sur le plan des infrastructures économiques, on note que la zone, traversée de part en part par la route panaméricaine, est dotée d'un réseau de voies secondaires assez dense, qui facilite la commercialisation des productions.

4.2. Un peu d'histoire...

La première zone irriguée par le projet, entre les villes de Latacunga et Salcedo disposait auparavant d'aménagements anciens : ainsi, on observe encore les traces d'un canal en ruine au milieu de prairies elles-mêmes encore irriguées à partir d'un autre canal qui aurait une quarantaine d'années.

Ces ouvrages ont pu être réalisés par les propriétaires d'haciendas. Il n'est pas impossible d'imaginer que cette zone climatiquement déficitaire ait pu être aussi aménagée par les indiens avant l'arrivée des colons espagnols.

Aujourd'hui, il est surprenant de voir se maintenir l'ancien réseau au milieu du projet.

Mais les bénéficiaires de ce canal auraient refusé d'adhérer au projet INERHI dans la mesure où ils disposeraient d'un débit fictif continu de 2 litres par seconde, alors que le canal étatique ne leur offrait que 0,6 litres par seconde.

De la même manière, à l'extrémité du projet, les paysans du village d'Izamba ont rejeté l'eau de l'INERHI dans la mesure où ils disposaient de canaux propres alimentés à partir d'un torrent voisin, et que leurs systèmes de production (minifundios maraichers) auraient souffert des travaux d'installation de siphons (seule manière de les alimenter à partir du canal maître).

4.3. Systèmes agraires, systèmes de production

La majeure partie de la population est constituée de communautés indigènes qui vivent dans des bourgs très densément peuplés. On l'estime à 36 000 personnes (5 900 familles) : c'est une des zones à densité de population les plus élevées de l'Équateur (environ 400 habitants au kilomètre carré agricole irrigué), et cela met en lumière la gravité des problèmes socio-économiques qui y règnent, comme le relève la structure foncière (fig.3).

Strates (ha)	Nb de propriétaires	Superficie correspondante (ha)
0 - 1	14061	3329
1 - 2,99	625	973
3 - 4,99	84	318
5 - 9,99	59	408
10 - 19,99	46	608
20 - 49,99	31	946
>50ha	6	362

Figure 3 - Structure foncière dans le projet Latacunga - Salcedo - Ambato
(Source : INERHI, 1986).

Au long du canal maître, on rencontre selon les secteurs différents systèmes agraires : ici, on trouvera une juxtaposition de petites haciendas de quelques dizaines d'hectares orientées vers l'étagé laitier, irriguant des prairies naturelles ou parfois cultivées.

Ailleurs, ce sera l'association entre ce type d'hacienda et le minifundisme aux alentours. Plus loin, on ne rencontre que de petites exploitations familiales de subsistance avec prédominance du maïs, alors qu'en d'autres endroits, apparaît plus franchement l'association entre l'agriculture et l'élevage (maïs et luzerne).

Enfin, certains secteurs, notamment proches d'Ambato sont constitués de petits jardins maraîchers très soignés. Il faut ajouter les zones déjà citées où l'eau vient de parvenir à travers les siphons et où les systèmes de production s'orientent vers tel ou tel modèle voisin.

4.4. Fonctionnement théorique

L'infrastructure fonctionne théoriquement de manière égalitaire et centralisée. En période normale, les canaux tertiaires sont alimentés de façon continue ; le tour d'eau recommandé est de sept jours et demi, ce qui impose à chaque agriculteur d'irriguer une fois sur deux la nuit.

En pratique l'INERHI n'intervient pas au niveau des tertiaires, laissant l'administration aux "juntas de l'eau" (organisation paysanne) ou aux grands exploitants lorsqu'ils bénéficient d'un tertiaire pour eux seuls.

Comme on a surestimé le débit disponible en période estivale, qui descend aux environs de deux mètres cubes par seconde au lieu des quatre et demi prévus, il faut faire des réajustements.

Si le déficit est faible, la réduction des débits se fait de manière proportionnelle (puisque les répartiteurs sont formés de tôles verticales qui divisent le débit). Quand le déficit est trop important, l'INERHI procède à un tour d'eau sur les canaux secondaires et tertiaires afin de donner tous les quinze jours des débits d'attaque suffisants (il semble qu'il vaut mieux irriguer avec un débit de 8 litres par seconde tous les quinze jours pour éviter les pertes par infiltration et évaporation qui se produisent avec un débit de 4 litres par seconde toutes les semaines).

4.5. Les conflits entre usagers

La zone du projet est assez vaste, et le principe de distribution permet généralement un fonctionnement autonome de chacun des 600 groupes d'utilisateurs placés sur les tertiaires. Cependant, on a pu noter dans certains secteurs des conflits.

Il y a d'abord eu celui qui a opposé les utilisateurs de la première partie du projet entre Latacunga et Salcedo et ceux de l'aval. Les premiers, en général propriétaires des haciendas d'élevage, voulaient disposer d'un litre par seconde et par hectare. Quand les seconds le surent, ils réclamèrent le même traitement, et l'INERHI finit par ramener toutes les dotations sur la base de 0,6l/s/ha.

Il y a ensuite des phénomènes plus localisés : ainsi, au niveau de certaines prises de canaux tertiaires, on a pu observer une modification des charges (à l'aide de pierres ou de touffe d'herbe) qui provoque une répartition différente de celle qui avait été prévue par le projet.

Il sera intéressant d'examiner si ces modifications constituent un réajustement "normal" sur le terrain par rapport au calcul des concepteurs du réseau qui avaient peut-être sous-estimé la demande de tel ou tel secteur - on peut alors faire l'hypothèse que ce réajustement est admis par les utilisateurs des tertiaires voisins - ou bien s'il s'agit d'une tromperie de courte durée - et alors les pierres et touffes d'herbe seront vite retirées.

4.6. Un rapide bilan socio-économique

Le financement du réseau, 20,4 millions de dollars, fut couvert par la Banque Interaméricaine de Développement (BID) et par la Banque Équatorienne de Développement (BEDE).

L'État ne transfère pas le coût de l'investissement sur les usagers, qui ne paient qu'une redevance minimale (fixée sur une base nationale). Il n'impose aucun modèle culturel pré-établi, et ne commercialise aucune production.

En ce sens, il s'agit d'une forme d'intervention exemplaire (l'INERHI se comporte comme un simple fournisseur d'eau), ce qui la distingue de bien d'autres encadrements étatiques que l'on connaît dans d'autres pays.

Cependant, il apparaît que, dans un grand nombre de secteurs du projet, à l'exception de la zone maraîchère finale, il n'y ait pas véritablement de cultures susceptibles de rémunérer le travail des paysans. Ceci devra probablement être étudié afin de mieux saisir le fonctionnement économique des exploitations paysannes. Il faut aussi noter l'adaptation très rapide des paysans des secteurs autrefois secs et aujourd'hui reliés au canal principal par les siphons.

Le système d'irrigation Latacunga - Salcedo - Ambato semble être l'une des meilleures interventions de l'État équatorien, en particulier sur le plan de l'extension de l'irrigation, et sur celui de la répartition proportionnelle des déficits en saison sèche. Il n'en reste pas moins que subsistent divers problèmes au premier rang desquels on trouve justement ce déficit estival.

Aborder cette question revient à élargir le champ d'observation, pour constater qu'il existe une concurrence amont-aval entre le projet et les secteurs amonts qui utilisaient autrefois les rivières Cutuchi et Pumancuchi.

En fait, l'accroissement du débit estival pour le projet Latacunga - Salcedo - Ambato dépend largement de la réalisation de deux nouveaux projets étatiques, le canal "del Norte" et le canal "Alumis" qui draineront des eaux provenant d'un bassin oriental pour les trois systèmes.

En définitive, ce qui manque à l'intervention étatique actuelle pourrait être la mise en place d'un système de suivi et d'évaluation des effets des projets, tant sur le point de vue agronomique que socio-économique, système qui devrait être en relation avec le dispositif de planification de l'irrigation.

Conf :
Séminaire " Sistemas agrarios en el Perú "
UNALM/ORSTOM, Lima (Pérou), 10/87.

Vous avez dit :
" SYSTEMES DE PRODUCTION ? ",
J'avais compris :
" SYSTEMES DE PRODUCTION ! ".

Essai d'analyse des concepts et des modes.

par Thierry RUF*

Quito, septembre 1987

Nota Bene :

Ce texte s'appuie sur une quarantaine d'écrits sur les systèmes de production de provenances diverses. Il ne prétend pas à l'exhaustivité. Son objectif est simplement d'éclaircir les concepts employés ici et là et d'avancer dans les connaissances.

* Agro-économiste, Mission ORSTOM, Apartado 17.11.06596, Quito - Équateur

"Le monde n'est pas un chaos. ... Ce n'est pas parce que nous manquons de références internes à l'observation de notre environnement, ce n'est pas parce que nous voyons là des raisons objectives d'insatisfaction que nous pouvons nous permettre de conclure au chaos. Alors si le monde n'est pas un chaos, c'est qu'il est organisé en systèmes, certes plus ou moins complexes, mais dont nous pouvons admettre l'existence comme hypothèse de travail: les êtres vivants quels qu'ils soient vivent en populations, les maisons vivent en villes et villages, les parcelles des terres cultivées vivent en exploitations agricoles..."

C'est ainsi que s'exprimait d'entrée de jeu J.M. LEGAY, biométricien de l'INRA, au colloque sur "les méthodes et les modèles dans l'étude des systèmes complexes" (Paris 1986). Par ces mots, il nous rappelle les propos bien souvent entendus dans les projets de développement agricoles: "les paysans ne font pas ce qu'on leur dit, ils sont bornés et ne comprennent rien".

Les recherches "systémiques", qui sont censées éclairer d'un jour nouveau les agricultures, ont en réalité deux grandes origines historiques: d'une part, le constat de l'échec de projets de développement a amené leurs promoteurs à s'interroger sur les résistances aux innovations techniques (des projets) et à engager des opérations de recherche sur les zones d'intervention; d'autre part, la recherche scientifique a elle-même poussé des investigations au delà des champs disciplinaires et des travaux analytiques classiques pour tenter de comprendre le fonctionnement de systèmes.

Cette distinction n'est pas anecdotique: nous allons voir qu'elle correspond à des différences tant dans les approches, les méthodes, la rigueur, le temps de recherche, et bien entendu les concepts et leurs interprétations qui donnent l'apparence d'une grande confusion à la notion de systèmes de production. Comme le note J. BEEBE (1985), certains emploient des concepts similaires avec des "étiquettes" différentes et d'autres ont des concepts différents sous une même "étiquette".

1. QU'EST CE QU'UN SYSTEME ?

La définition du dictionnaire ROBERT nous offre deux grands types d'emploi.

- c'est un ensemble organisé d'éléments intellectuels,
- ou c'est un ensemble possédant une structure constituant un tout organique.

La nuance n'est pas mince. La plupart des adversaires des recherches systémiques se réfèrent à la première définition, soutenant par exemple qu'un système est une vue de l'esprit et non un résultat scientifique (E. LAVILLE, 1985).

Le même auteur, se référant à FOUCAULT (1966), rappelle que les naturalistes se sont opposés à la fin du XVIIIe Siècle sur la démarche à adopter en vue de la "nomination du visible": pour décrire les plantes et rechercher leurs différences, les uns prônaient la "Méthode", les autres le "Système".

Pour établir des identités et des différences entre tous les êtres naturels, il faudrait tenir compte de chaque trait qui a déjà été mentionné dans une description, tâche infinie qui reculerait l'avènement de l'histoire naturelle, s'il n'existait des techniques pour tourner la difficulté et limiter le travail de comparaison:

- *Ou bien on fait des comparaisons totales à l'intérieur de groupes empiriquement constitués où l'énumération des ressemblances est manifestement si élevé que l'énumération des différences ne sera pas difficile à parachever: et ainsi de proche en proche, l'établissement des identités et des destinations pourra être assuré: c'est la Méthode.*
- *Ou bien on choisit un ensemble fini et relativement limité de traits dont on étudiera chez tous les individus qui se présentent les constances et les variations: c'est le Système.*

La démarche du Système est arbitraire puisque l'on ne tient pas compte des autres différences ou identités qui n'avaient pas été retenues au départ. De plus, si l'un des critères est très variable, on risque de différencier très tôt un individu d'un autre alors qu'ils sont peut-être par ailleurs très voisins. Au contraire, si un critère varie peu, on retrouvera à la fin des masses compactes d'individus non différenciés. La démarche de la Méthode consiste à déduire progressivement les éléments de différence entre espèces voisines. On décrit une première espèce complètement, puis pour la seconde uniquement les différences avec la première et ainsi de suite. Il n'y a donc qu'une Méthode alors qu'il y a une infinité de Systèmes. La Méthode peut s'adapter alors que le Système fige tous le processus de description. (FOUCAULT, 1966 rapporté par LAVILLE, 1985)

A cette seconde critique, il est facile de répondre que les mots du XVIIIe Siècle avaient un sens précis, peut-être plus qu'aujourd'hui: le système signifiait alors démarche uniformisée pour la description de la nature. Cela relevait bien de l'ensemble organisé d'éléments intellectuels tout autant que la méthode qui contient l'idée d'une démarche plus souple, évolutive dans le temps. Mais aucune des deux approches du visible ne cherchait à comprendre comment vivent les plantes, comment elles entrent en compétition pour la conquête de l'espace, du sol, de la lumière, de l'eau et des nutriments, ce qui fera l'objet de recherche systémique beaucoup plus tard.

Ce rappel historique sur la démarche scientifique pour donner des identités aux choses visibles devrait nous inciter à plus de circonspection dans l'une des formes de recherche actuelle sur les systèmes de production: on voit bien souvent des travaux où sont fixé à priori les critères de différenciation selon un système de pensées pré-établi, aboutissant à des simplifications abusives et surtout inopérentes, voire dangereuses pour les objets de cette classification (1). Il pourrait être très avantageux de s'inspirer de la "Méthode" des naturalistes du XVIIIe siècle, c'est à dire décrire le plus finement possible (dans l'état des connaissances actuelles) un système de production et de chercher les différences pour un second et ainsi de suite.

Mais, un système agricole comme le système de production, est-il du domaine du visible ou seulement de l'invisible ? Si on retient pour définition l'ensemble possédant une structure constituant un tout organique, il est logique de parler de système de production qu'en présence d'une structure visible dans laquelle fonctionne le dit-système. Nous verrons qu'il n'en est pas toujours ainsi selon les disciplines et les approches.

Supposons acceptée l'idée que le monde est organisé en systèmes complexes comme l'affirme LEGAY. Cela signifie que pour définir un objectif de recherche à propos d'un système, on sache resituer ce système dans l'ensemble des systèmes complexes. Or ceci non plus n'est pas toujours explicite. Pire encore, selon CHATELIN e.a (1982) qui se réfèrent aux sciences du sol, la tendance de certaines recherches systémiques est d'aller vers des investigations de plus en plus fines pour découvrir des mécanismes fondamentaux, ce qui ne pose pas de problèmes en soi si ce n'est lorsque l'on a perdu de vue les ensembles supérieurs et que l'on est incapable d'y resituer les résultats.

Ceci ne signifie pas pour autant qu'il faille prétendre à l'exhaustivité. Il est indispensable de se fixer des objectifs qui vont d'ailleurs contribuer à former "l'objet scientifique". Les limites du système étudié en dépendront largement et pourront paraître arbitraires d'un observateur à un autre (BOURGEOIS, 1983). Cependant, l'analyse des formes ne permet pas à elle seule de caractériser le système. C'est l'analyse du "contenu" qui donne un sens à la recherche systémique. LEGAY oppose la "logique formelle" à la "logique expérimentale qui se rapproche de plus en plus du contenu".

De ROSNAY (1975) a proposé une définition explicite du système:

"ensemble d'éléments en interaction dynamique organisés en fonction d'un but".

Les diverses relations qui lient les éléments du système sont des fonctions de production (transformations de l'énergie et de la matière), des fonctions d'échange, des fonctions de régulation, d'information et de contrôle. Le système que l'on a défini permet d'avoir une vue d'ensemble de tous ces processus.

Mais il n'est pas nécessaire de connaître tous les processus de tous les éléments du système pour saisir la logique de son fonctionnement. Selon le niveau d'observation et compte tenu du développement des connaissances, on considèrera suffisant, pour un élément donné, de connaître les flux d'entrée et de sortie. On ira regarder dans la "boite noire" que si l'on pense qu'il se produit des dysfonctionnements en son sein. Une analyse de système commence donc par la définition des éléments ou compartiments dont on étudiera le fonctionnement comme un sous-système et de ceux dont on se contentera des flux d'entrée et de sortie (BOURGEOIS).

La recherche systémique conduit donc, après observations et expérimentation, à une simplification dans la représentation du système complexe pour commencer à comprendre son fonctionnement. LEGAY précise que le travail sur des modèles-instruments implique de nouvelles exigences de rigueur: il s'agit d'abord d'écarter toute idée de modèle "à imiter", de préciser ensuite le domaine de validité, c'est à dire les hypothèses pour lesquelles on pense que le modèle explique valablement un phénomène. "On ne peut afficher des objectifs de recherche sur des systèmes complexes et continuer de travailler comme si ces systèmes n'étaient pas complexes" affirme-t-il avec force.

Mais la modélisation des flux entre les compartiments n'est que la première étape de l'analyse. L'étude des prises de décisions, en regard avec les objectifs de ceux qui gèrent le système, doit permettre de porter un jugement sur la cohérence entre le fonctionnement et la finalité du système. Etant donné qu'en agriculture, les systèmes sont ouverts et soumis à des aléas très importants, la cohérence n'exclue pas le conflit, le compromis, la contradiction (BOURGEOIS).

Le système est en mouvement permanent. Tous ses éléments ont une histoire. On ne peut comprendre un système complexe que par rapports à ses états précédents. LEGAY pense que la complexité provient plus de l'héritage d'un passé même récent que des mécanismes du présent. Cependant, les états du passé ne sont connus que par des détours méthodologiques malaisés et parfois risqués, alors que les mécanismes du présent peuvent donner lieu à expériences et répétitions d'expériences.

Fort de ces précisions conceptuelles, nous prenons conscience que le terme système est employé pour qualifier ce qui n'est pas système ni du point de vue intellectuel, ni du point de vue organique. Ainsi le "système de tenure foncière" est une expression mal choisie (2): l'expression la plus correcte serait le régime des tenures foncières, reflet de rapports sociaux. Plus généralement, l'expression système apparaît comme un raccourci très pratique dès lors que l'on considère trop complexe la réalité ou que l'on cherche à la simplifier par un "système" plus simple. Là, on retrouve un sens plus idéologique au mot système.

Nous allons pouvoir examiner comment chaque discipline scientifique, qui, adoptant une terminologie de système, a défini son propre concept de système de production. Nous verrons ensuite quelles démarches sont employées dans les institutions saisies par l'approche systémique, les CIRA avec les recherches anglo-saxonnes sur les "farming systems" et le mouvement francophone de "Recherche-Développement" développé notamment au CIRAD. Enfin, nous présenterons la démarche scientifique pluridisciplinaire que des équipes françaises ont adoptée ici et là, en France avec l'INRA-SAD comme dans le tiers-monde avec l'ORSTOM. Comme nous allons le constater, le terme système de production est employé pour des concepts différents, et des termes divers sont utilisés pour rendre compte du fonctionnement de l'exploitation agricole ou d'autres choses encore.

2. TRAJECTOIRE HISTORIQUE ET DISCIPLINAIRE DU CONCEPT DE SYSTEME DE PRODUCTION

2.1 Un illustre précurseur: Olivier De Serres et le "Mesnage des Champs".

Avant même que la science se forge ses concepts et ses méthodes, Olivier De SERRES a publié le "Théâtre d'agriculture et mesnage des champs" en 1600 à Paris. Pour la première fois y était exposée une vision d'ensemble de la gestion d'une ferme ou d'un domaine. O. De Serres, agriculteur expérimenté, a fondé son travail de précurseur sur "la science, l'expérience et la diligence" par opposition aux croyances non vérifiées ou vérifiables.

Les champs disciplinaires de la science n'ayant pas définis leurs limites, l'objet du "théâtre" (le mot signifie alors oeuvre de "description") est d'orienter les prises de décisions des agriculteurs dans tous les domaines (3).

Il est certain que cette vision d'ensemble du "système de production" trouve ses limites dans le manque de références sur les mécanismes qui expliquent le fonctionnement de tel ou tel élément. Mais justement, cette méconnaissance n'empêche pas la vision d'ensemble. Par ailleurs, l'objet de recherche est défini par rapport aux questions que la société pose à l'observateur. En l'occurrence, O. De Serres, et tous les auteurs qui s'inspireront de son oeuvre, tentent de répondre à la demande d'informations des propriétaires de domaines fonciers qui cherchaient à mettre en valeur des propriétés relativement petites (par opposition aux très grands domaines fonciers de la noblesse rentière): le "modèle" sur lequel raisonne De Serres est son propre domaine de 300 hectares où il associe les grandes cultures, le jardin, l'élevage, l'irrigation,...ect.

Au cours du XIXe siècle, le découpage de l'objet scientifique selon les disciplines va entraîner peu à peu la perte de la vision globale de l'objet défini par O. De Serres, le message des champs. Chaque discipline ne va plus s'intéresser qu'à l'un des compartiments des systèmes de production agricoles: on étudie le sol, la plante, le climat, l'animal,...etc. La tendance au découpage de la réalité complexe s'accroît au XXe siècle, chacun perfectionnant sa science et se préoccupant guère de savoir comment articuler sa discipline avec la discipline voisine (ce qui n'exclue pas l'adoption d'une démarche systémique sur l'objet scientifique considéré).

En France, cette évolution n'a pas posé de problèmes majeurs jusqu'à une époque récente. Après la deuxième guerre mondiale, la demande sociale de recherche à la campagne a évolué sous l'effet de changements socio-économiques profonds que nous ne pouvons exposer dans le cadre de cette communication: les objectifs productivistes d'une couche nouvelle d'agriculteurs ayant le plus souvent des petites et moyennes exploitations ont permis à la recherche monodisciplinaire de poursuivre ses travaux avec des résultats aussi bien sur le plan scientifique que sur le plan du développement agricole. Les choses changeront au cours des années 1970, et la demande sociale actuelle des paysans français serait plutôt de disposer de références et de conseils sur l'ensemble de leur exploitation (voir les comptes rendus des "Etats généraux pour le Développement en 1982, et la demande dans les instances syndicales ou de développement de "conseils de gestion adaptés", une sorte de "message des champs" perfectionné par les références scientifiques qui manquaient à O. De SERRES).

2.2 Le système de production de la Micro-économie en France.

Au XVIIIe Siècle, le théâtre d'Agriculture était considéré comme un ouvrage d'économie rurale. L'économie agricole contemporaine a nié et renié cette économie rurale là (4). Les micro-économistes se réfèrent aujourd'hui à la définition classique de CHOMBARD DE LAUWE (1963):

"L'exploitation agricole est une unité économique dans laquelle l'agriculteur pratique un système de production en vue d'augmenter son profit. Le système de production est la combinaison des productions et des facteurs de productions (terre, travail, capital d'exploitation) dans l'exploitation agricole".

Les performances du système de production d'une exploitation s'évaluent par l'enregistrement comptable et le calcul économique. Si la définition est conforme à l'exposé du concept système tel que nous l'avons présenté, elle appelle trois remarques:

- 1 Le système a une finalité présumée: augmenter le profit de l'agriculteur.
- 2 La définition s'appuie sur une structure unique, l'exploitation, dans laquelle fonctionne le système géré par un acteur unique, l'agriculteur. Il existe bien des régions dans le monde où cette "simplicité" n'existe pas.
- 3 Le jugement sur le système repose sur l'analyse des flux d'entrée et de sortie exprimés en argent.

Ainsi défini, le système de production des micro-économistes est une construction de compartiments considérés comme des boîtes noires générateurs de flux monétaires pour une unité de production simple: l'entreprise agricole dirigé par un chef d'entreprise. On privilégie la forme, non le contenu.

2.3 La difficile transposition du système de production micro-économique dans le Tiers-Monde.

Dans des sociétés non européennes, comme en Afrique, les micro-économistes ont été confrontés au problème de la structure d'exploitation. Ne pouvant adopter ni même adapter la définition de CHOMBARD DE LAUWE, ils n'utilisent ni le terme d'exploitation, ni le terme de système de production. Ils ont défini l' "Unité de Production Agricole" à l'intérieur de laquelle, de manière privilégiée, s'effectue la mise en oeuvre des facteurs de production, et à partir de laquelle s'opère des processus d'utilisation et de circulation de produits obtenus (SEDES, 1981).

La description de l'unité de production passe par la mise à jour du mode d'exploitation (faire-valoir), l'inventaire des facteurs de production (terres et leur utilisation, force de travail et sa répartition dans le temps et dans l'espace, investissements agricoles, cheptels vifs et cheptels morts...), la qualification du "système d'exploitation" (culture manuelle, attelée ou motorisée), la quantification des productions et des productivités, le compte d'exploitation.

La démarche, s'il elle n'emploie pas tous les termes de la micro-économie européenne, reste fondamentalement formelle. Le terme de système est un artifice descriptif. C'est le résultat final, le compte d'exploitation avec ses normes et ses ratios, qui justifient le découpage de l'objet de recherche complexe en sous-ensembles redevables de comptabilité. Le conseil de gestion qui découle de cette analyse micro-économique, vise à corriger des ratios jugés défavorables à l'échelle du décideur dans l'unité de production.

2.4 Le système de production socialisé des économistes et anthropologues.

Dans une autre branche de l'économie rurale actuelle, les économistes ruraux africanistes qui, eux, s'intéressent à l'économie des groupes sociaux, c'est à dire affichent comme objectif de leur discipline la compréhension de comportements économiques généraux, ont une toute autre perception du "système de production". Ainsi, parlant de l'économie de plantation en Côte d'Ivoire, Ph. COUTY (1979) le définit comme:

une "association de spéculations agricoles et de groupes sociaux dans un cadre spatial complexe".

Le "système" apparaît comme un ensemble de relations (de flux, de mécanismes concernant l'accès à la terre, les rapports de travail, le partage du produit) entre autochtones et étrangers pour la mise en valeur du territoire.

Pourtant, quelques années plus tard, le même auteur associé à un géographe (A. LERICOLLAIS) revient sur cette définition pour en adopter une plus proche de l'exploitation agricole et inspirée par la définition d'agronomes et d'agro-économistes de l'INRA (M. SEBILLOTTE):

"ensemble structuré de productions animales et végétales retenu par un agriculteur ou un groupe d'agriculteurs dans son (leur) exploitation agricole pour réaliser ses (leurs) objectifs.

Cette évolution de la pensée économique s'appuie sur divers travaux (MINVIELLE, 1978 - WEIGEL 1979) qui estiment que l'éclatement des structures sociales? dans certaines régions d'Afrique, permet aujourd'hui de parler d' "exploitation familiale" au sein de la concession, cette dernière n'étant plus qu'une unité de résidence rassemblant plusieurs foyers autonomes (mais différents du ménage européen).

L'exploitation est alors définie par:

- une disponibilité de terres à cultiver quelque soit le mode d'appropriation,
- une disponibilité en force de travail familial,
- une consommation communautaire de la production agricole obtenue par la combinaison des deux premiers éléments,
- une unicité budgétaire concernant le fonctionnement général de l'exploitation et l'entretien de la famille, (n'excluant pas certains revenus ou consommations individuels),
- la détention éventuelle de matériel agricole et l'adhésion à une coopérative ou à un groupement de producteurs.

WEIGEL, cité par COUTY et LERICOLLAIS (1982), explique comment distinguer le mode de production du système de production. Le mode de production est l' "ensemble des rapports de production et de reproduction organiquement associés à un niveau donné de développement des forces productives". Si on n'inclut pas les rapports de production dans sa recherche sur les exploitations, on travaille sur des systèmes de production analysé comme:

"un mode de combinaison entre terre, forces et moyens de travail, dépendant de l'organisation sociale et économique et des contraintes écologiques évolutives" (5).

Mais le travail sur les exploitations, jugé indispensable, ne doit pas faire oublier que l'économiste rural aspire à une lecture plus générale, plus englobante du réel. C'est pourquoi MALASSIS propose de retenir comme définition de système de production:

"la combinaison des productions, des facteurs de production et des rapports de production dans leur liaison avec les conditions écologiques et avec l'organisation socio-économique.

Ainsi, par extension, le système de production, d'abord analysé au niveau de l'unité de lecture qu'est l'exploitation, peut être caractéristique d'un groupe (comme un groupe ethnique). COUTY et LERICOLLAIS notent d'ailleurs que c'est ce à quoi WEIGEL aboutit en parlant de "système de production Soninké dans la vallée du Sénégal".

Cette approche appelle deux remarques:

1. Quelle peut être la validité conceptuelle d'une telle expression ? La juxtaposition de multiples systèmes constitue-t-elle un nouveau système d'ordre supérieur, s'il n'est pas prouvé que les exploitations support des systèmes de production ont des interrelations ? Ne devrait-on pas parler d'un modèle (au sens imitatif) de production que les Soninké reproduisent ici où là, parce que placés dans les mêmes circonstances (6) physiques, culturelles et techniques ?
2. Quelle est justement le domaine de validité de l'extension de résultats d'enquête ? Le critère ethnique, souvent évoqué en Afrique, est-il justifié dans tous les cas ? A-t-on vérifié sur le terrain en d'autres lieux que le modèle imaginé rend bien compte de ce qui se passe dans la réalité ?

2.5 Le système de production spatialisé des géographes.

Pendant très longtemps, les géographes n'ont pas employé le terme "système" pour décrire l'espace.

En 1946, CHOLLEY, en parlant du choix des cultures et de leur combinaison, n'allait pas faciliter la clarté dans l'usage des expressions, d'autant plus qu'il estime que "système agraire" est équivalent à "système de culture" et que ce qu'il décrit ressemble plus au "système de production" des économistes ruraux africanistes:

"Ce système agraire évoque en effet d'abord une conception psychologique plus ou moins collective résultant des apports de toute une série de générations et comprenant des tendances ethniques, des traditions, des expériences individuelles, des échanges avec d'autres groupements humains...etc, qui règlent le choix des cultures et leur combinaison,

c'est à dire la manière de répartir les terres. Le système agraire répond ensuite à une organisation du travail (outils, attelages, main d'oeuvre) que nous dénommons généralement train de culture." (CHOLLEY A., 1946. - Problèmes de structures agraires et d'économie rurale.- cité par SAUTTER G. dans une note multigraphiée diffusée en 1985 au DSA/CIRAD)

Le système n'est pas ici un moyen de simplifier le réel pour mieux le comprendre mais de mettre sous ce vocable tout ce qui est invisible, irrationnel dans les choix des agriculteurs.

Récemment, après un bilan de vingt années de travaux monographiques sur des "terroirs" africains, des géographes procèdent à des "analyses systémiques" qui consistent à "étudier de manière détaillée et à grande échelle l'espace de vie d'une communautés ou d'un groupe de communautés rurales. L'accent est mis sur la façon dont la société rurale appréhende les différences écologiques à l'intérieur de cet espace, et en tire parti à travers son propre système de production"... On cherche à obtenir une image cohérente et quantifiée d'un système d'exploitation du milieu ajusté aux contraintes d'espace et de temps (G. SAUTTER, note multigraphiée).

Les économistes ruraux cherchent à comprendre des groupes sociaux, les géographes tentent de trouver une grille d'interprétation du petit espace qu'il observe. Dans chaque cas, la notion de système de production correspond à l'échelle où se place le scientifique: elle englobe toujours un certain nombre d'exploitations dont le dénominateur commun serait le système de production.

La méthodologie de cette géographie globalisante se rapproche de celles des agronomes "systèmes" que nous exposerons plus loin, bien que les unités d'observation diffèrent.

Après une phase préliminaire de quelques mois où l'on établit une cartographie écologique, une cartographie parallèle des "unités de voisinage" (groupes sociaux ayant une assise spatiale), une cartographie des densités de population, et une étude générale et qualitative du système agraire, on procède à une phase d'un an d'observations à la fois sur les sous-espaces écologiques différenciés et sur les exploitations agricoles.

Dans le "sondage spacio-écologique", un observateur permanent est chargé de noter tout ce qui se passe dans chaque sous-espace: apports de travail et d'engrais, stationnement du troupeau, déplacements de travailleurs, transports de récoltes, réincorporation au sol de la matière végétale sous diverses formes, formes de cueillette...etc. L'unité spatiale d'observation doit être suffisamment vaste pour englober des parcelles bien ou mal entretenues à différents stades du cycle d'exploitation (quand celui-ci s'étend sur plusieurs années). A l'issue de ce travail, on obtient une véritable photographie de l'exploitation des sous-espaces écologiques.

Le sondage sur les unités d'exploitation (familles plus ou moins étendues) repose sur une typologie d'exploitation fondée sur la connaissance préalablement acquise des éléments de différenciation au sein de la société locale. L'observateur est chargé de récolter les données suivantes:

- part des dépenses de travail et autres facteurs de production affectées aux divers sous espaces écologiques ou types de champs,*
- part de la production soit alimentaire, soit commerciale en provenance de ces mêmes sous-espaces,*
- ventilation de cette production dans le calendrier cultural,*
- transferts opérés entre ces sous-espaces écologiques par l'intermédiaires de l'exploitation,*
- stock d'informations disponibles sur chaque unité écologique (recueillie par les agriculteurs).*

L'analyse de toutes ces données se fait sous la forme de budgets divers du temps, des quantités physiques pondérales, des calories, et d'argent avec l'idée qu'aucun budget pris isolément n'a de valeur propre.

Le fait que l'observation ne se déroule que sur une année ne permet pas de prendre directement en compte les variations interannuelles, mais il y a trois parades: on reconstitue l'histoire des parcelles, on choisit des parcelles d'étude à divers stades du cycle d'exploitation, et enfin on poursuit le travail de recherche durant les années suivantes par la prise de photographies aériennes à l'aide de petits appareils d'aéroclub.

Le produit final de ce dispositif de compréhension du système de production" ou "système d'exploitation" est de juger de la cohérence et de l'efficacité du système agricole par rapport à son milieu support, c'est à dire:

- *vérifier si une fraction de l'espace n'absorbe pas une part disproportionnée de facteurs de production par rapport à ce que les exploitations et les communautés en retirent,*
- *vérifier si certains groupes d'exploitations ne disposent pas d'un privilège écologique en se réservant l'accès aux sous-espaces qui donnent le plus pour un investissement moindre,*
- *analyser quel est l'écart entre le possible du double système économique et social (ensemble des sous-espaces, ensemble des exploitations) et sa réalisation agricole effective, c'est à dire mesurer les marges de progrès.*

(d'après la note de G. SAUTTER diffusée au DSA/CIRAD en 1985)

Cette déclaration d'intention, remarquable dans la tentative de comprendre un système complexe, paraît justement prétendre à une exhaustivité dépassant largement le champ disciplinaire. Si la géographie se définit elle-même comme une science de synthèse, il est risqué d'affirmer qu'elle peut tout entreprendre. Des difficultés méthodologiques énormes attendent l'observateur tant dans le repérage des diverses unités sur le terrain, l'adoption des unités de mesure, les dispositifs de suivi, la possibilité matérielle de suivre des parcelles dispersées, d'effectuer des enquêtes répétées qui peuvent lasser les exploitants mis en observation, l'effort énorme de traitements des nombreuses données et leur interprétation avec un minimum de rigueur, l'analyse des marges d'erreur...etc. C'est l'un des dangers de la recherche systémique: puisque "les autres" ne travaillent pas avec les mêmes concepts, ni les mêmes objectifs, on cherche à vouloir tout entreprendre seul. C'est d'ailleurs l'un des paradoxes de ces approches, puisque l'une de leurs justifications est de faciliter les recherches pluridisciplinaires autour de l'objet commun, le système. Cela dit, G. SAUTTER se réfère explicitement à l'écologie pour justifier sa démarche.

2.6 Le système de production dans l'écosystème des écologues.

Nous nous référerons ici à un seul travail réalisé en France par un chercheur allemand, K. ELLSASSER (1985) de l' "Institut für Landespflege" (Institut des Sciences Forestières de l'Université de Fribourg en Brisgau). "Landespflege" n'a pas d'équivalent en français. Il s'agit de l'ensemble des "activités scientifiques et appliquées qui ont pour but une meilleure mise en valeur de l'espace et des ressources" (selon l'expression de M. JOLLIVET).

L'espace anthropisé est un système d'une complexité considérable formée de quatre sous-systèmes en interactions:

- un système biologique, l'écosystème,
- un système des pratiques,
- un système de production,
- un système socio-économique.

K. ELLSASSER explique que, contrairement aux modèles écologiques traditionnels qui n'étudient que les flux d'énergie et de matière, lui ajoute les flux d'information et les flux d'argent entre les quatre systèmes. Le système de production, placé au centre du modèle, est en réalité constitué des structures de l'exploitation (bâtiments, matériel, troupeau et force de travail disponible). Le système des pratiques regroupe toutes les actions de l'homme qui ont un impact sur l'éco-système pour le mettre en valeur et en tirer bénéfice.

L'agriculteur réalise des échanges avec le système socio-économique qui, en retour, influence sa logique de production.

L'auteur a travaillé avec un zootechnicien sur une petite région des Cévennes, la vallée de Taleyrac. L'opération a duré plusieurs années. L'équipe était conseillée par trois instances de recherche: le CNRS/PIREN (chargé d'études interdisciplinaires entre les sciences sociales et les sciences biologiques sur de petits espaces de la région montagneuse des Causses et des Cévennes dans le sud de la France); l'INRA/SAD (Systèmes Agraires et Développement); et l'Institut allemand. Il s'agit donc d'une étude de longue durée et fortement encadrée, ce qui pourrait être un des impératifs d'une recherche "système" rigoureuse.

Dans cette approche, le système de production, bien que placé au centre du modèle, apparaît seulement comme une boîte de transfert. Car ce qui intéresse l'auteur, c'est bien la valorisation de l'espace par les pratiques diverses des paysans aussi bien dans l'espace que dans le temps. Il isole les pratiques dans ses concepts systémiques parce que ce sont elles qui modifient les états de son objet d'étude. Le fait de raisonner directement en modèles d'explication et de simulation des divers états de l'espace impose la création d'un système intermédiaire entre l'écosystème et le système de production. Cependant, cette expression "système des pratiques" paraît un abus conceptuel, dans la mesure où les pratiques ne fonctionnent pas sans support et sans but. Autrement dit les pratiques seraient plutôt l'expression du fonctionnement des systèmes de production dans un espace donné. Mais n'anticipons pas sur l'exposé des concepts convergents de l'agronomie et de l'agro-économie française exposés plus loin...

2.7 Un concept de synthèse donné par un précurseur oublié: le système dans l'Anthropologie Agricole de De Schlippe.

On doit à L. FRESCO (1984) le rappel des concepts émis par un agronome belge en 1956, P. De SCHLIPPE, alors qu'il travaillait en Afrique Centrale. Sa démarche fut aussi celle d'un précurseur, puisqu'il considérait que le travail des agronomes en station de recherche devait être précédé par une analyse détaillée des traditions agricoles locales et de leurs rationalités. Il définissait l'agriculture comme une activité humaine et un processus naturel. L'étudier nécessite des connaissances relevant autant de l'agronomie que des sciences sociales, c'est à dire l'anthropologie agricole.

Il n'emploie pas le terme de "système de production" dans ses deux concepts clefs, mais leur sens s'avère conceptuellement proche. Pour De SCHLIPPE, l'agriculture peut être comprise à travers le "système d'agriculture" et les "types de champs".

Le système d'agriculture est le "modèle coutumier de comportement suivi par chaque membre du groupe (ethnographique) dans le domaine de la technologie agricole". Il s'analyse notamment en étudiant:

- la répartition spatiale des champs: ensemble des types de champ (voir plus loin),
- l'usage du sol dans le temps (pseudo-rotations),
- le calendrier de travail,
- le calendrier alimentaire et des autres besoins.

Le système d'agriculture est un concept à double sens: d'une part il s'agit bien d'un ensemble possédant une structure constituant un tout organique. Mais c'est également un ensemble organisé d'éléments intellectuels, parce que les éléments de ce système fonctionnent avec l'influence culturelle du groupe ethnographique. Le comportement agricole est dirigé selon des normes sociales, des valeurs sociales, et un certain savoir sur l'environnement, lequel est très détaillé dans tous ses aspects (variétés, dates de calendrier agricole, utilisation des produits...etc.).

Dans son sens structurel, le système de culture est composé:

- d'une mosaïque écologique;
- d'un ensemble de cultures et de variétés différentes, pour des usages différents;
- d'un ensemble d'outillage et de savoir-faire technique lié à...
- un processus de culture et de travail domestique.

De SCHLIPPE remet en cause l'idée traditionnelle de la recherche systémique qui consiste à découvrir par le système le fonctionnement d'une structure. Lui renverse le raisonnement. Tous les éléments prennent un sens quand on découvre la structure du système d'agriculture. La dualité de sens de système d'agriculture, ensemble d'éléments réels et intellectuels, le fait apparaître comme un langage. Aux mots d'une phrase d'un langage, correspond les éléments d'une structure d'un système. La structure est définie par les types de champs observées.

Les types de champs ont également une signification agronomique et sociologique. Chaque membre du groupe dispose de plusieurs types de champs, différents par la place dans la mosaïque écologique, par les associations de cultures qui y sont pratiquées, par les pratiques agricoles elles-mêmes. De SCHLIPPE explique que la structure n'est pas figée, qu'elle évolue dans l'espace et le temps en fonction des événements, de l'histoire du groupe, etc. Ainsi, l'introduction d'une culture coloniale doit être analysée comme un élément supplémentaire de la structure complexe: ce n'est rien d'autre qu'un nouveau type de champ parmi tous les autres... et c'est cela que les agronomes de station devraient comprendre. Trente ans après, la situation n'a guère changée.

2.8 Le concept restrictif de système de production dans l'Agronomie Andine.

MAYMARD a montré dans une note manuscrite (ORSTOM, 1982) comment les agronomes colombiens concevaient les systèmes de production, dans un sens tout à fait différent du notre (des notres), puisqu'il s'agit de "type de champ" vu du point de vue strictement agronomique.

Un système de production est formé par un "ensemble productif" et un certain "arrangement". L'ensemble productif est défini par les conditions non modifiables du milieu, à savoir l'altitude qui détermine la température, et la pente qui fixe les conditions de drainage et les possibilités d'emploi de machines. L'arrangement exprime la forme selon laquelle se trouvent les espèces végétales sur une superficie déterminée de terrain. On classe ces arrangements en culture pure, culture associée, culture intercalée et culture de relai, ceci pour rendre compte des degrés de compétition entre plantes cultivées. Un système de production pourra donc être celui de la culture pure du maïs se trouvant dans un ensemble productif caractérisé par une altitude comprise entre 1800 et 2000 mètres et par une pente moyenne de 60 %.

MAYMARD indique que l'on peut définir ainsi un grand nombre de systèmes de production, et cite le cas d'une petite région naturelle où l'on en a dénombré soixante quatorze. Il oppose donc le concept analytique et disjonctif de l'agronomie américaine au concept synthétique et intégrateur de l'agronomie française (voir plus loin).

Il donne une explication séduisante de la différence des concepts en insistant sur l'environnement culturel des agronomes: en Europe, on les forme à avoir une vision à long terme des activités et des décisions: c'est l'idée du profit durable et de la conservation des moyens de production (on peut y ajouter la transmission du patrimoine). En Amérique, les préoccupations sont à court terme et les objectifs de production sont considérés isolément. D'ailleurs, il constate que le problème de l'alternance des cultures est rarement évoqué, qu'on n'y attache guère d'importance et que les observations et les expérimentations sur ce sujet n'existe pas en Colombie. A ma connaissance, la situation est identique en Equateur où l' INIAP ne travaille que sur des types de champs avec une démarche de type "cropping systems research". Ceci nous amène tout directement à envisager la définition des systèmes de production et les approches qui en découlent par non pas directement les disciplines scientifiques mais par les organismes d'intervention qui font de la recherche sur les systèmes.

3. LES RECHERCHES "SYSTEMIQUES" INSPIREES PAR LE DEVELOPPEMENT EN MILIEU TROPICAL: UNE DISCIPLINE MULTIPLE ORIENTEE AUTOUR DE DIVERS CONCEPTS.

31. Origines des approches systémiques.

Dans les instances de recherche liées aux structures de développement, comme l'actuel CIRAD en France, on a coutume de situer l'origine des recherches systèmes à la fin des années 1960, lorsque certains agronomes sont sortis de leur station agronomique pour tenter de comprendre pourquoi leurs travaux n'entraînaient apparemment aucun changement aux environs immédiats de la station (TOURTE, 1982). Un peu plus tard, dans les années 1970, La démarche anglo-saxonne des Centres Internationaux de Recherche Agricole est également partie d'un certain constat d'échec du transfert des résultats de recherche vers le développement des agricultures paysannes.

Cependant, il ne faut pas pour autant oublier des interventions plus anciennes qui ont été conçues selon une approche systémique évidente: je veux parler des grandes opérations d'encadrement de paysanneries avant 1960.

L. FRESCO (1984) rappelle dans sa comparaison entre l'approche "farming systems research" et l'approche "recherche-développement", que, dans les années 1950, l'Institut National pour l'Etude Agronomique du Congo Belge a procédé à des recherches "systèmes" en liaison avec la forme autoritaire de réorganisation de l'agriculture: l'administration coloniale tenta d'imposer des "couloirs de culture homogène" dans chacun desquels les paysans recevaient une parcelle. Dans ce cas, on imposait un système de production, c'est à dire un modèle à imiter que la recherche avait contribué à mettre au point.

Ce modèle d'intervention n'a pas seulement été l'apanage de visions coloniales. En Egypte, c'est au nom du "socialisme arabe" que l'administration nassérienne a imposé au cours de la Réforme agraire le bloc de culture obligatoire (RUF, 1984). On retrouve cette forme particulière d'ingérence de l'Etat dans beaucoup de grands projets d'irrigation, comme l'Office du Niger au Mali, avant ou après l'indépendance.

Dans tous ces exemples, l'administration publique, quelque soit les motivations idéologiques et économiques qui soutendent son action, croit pouvoir se substituer aux paysans pour prendre les décisions de gestion du système de production qui l'intéresse; et pour plus de sûreté, elle préfère imposer son modèle. Dans la réalité, elle n'y parvient pas toujours, se heurtant à diverses formes de résistance. Parfois, elle finit par abdiquer et restituer aux paysans leur marge de manoeuvre. Elle retrouve alors les problèmes d'interventions plus classiques à travers des structures de vulgarisation.

3.2 Les premières analyses de situation.

Classiquement un dispositif de recherches est situé à l'amont du dispositif de développement. Les agronomes étudient en stations expérimentales les facteurs du milieu naturel et proposent des "paquets technologiques" supposés adaptés aux services de vulgarisation. Bien des auteurs ont souligné les problèmes de cette démarche: cloisonnement entre la recherche et la vulgarisation, mise au point du paquet technique sans prendre en compte les facteurs ou conditions socio-économiques des exploitations, mauvaise transmission des résultats sur le terrain pour poser de nouvelles questions à la recherche...

Du côté francophone, ce constat a amené les chercheurs à engager des procédures détaillées de collecte de données sur les processus techniques de production en milieu réel, à raisonner en terme de "systèmes de production" notamment en vue de donner un conseil de gestion aux agriculteurs partenaires de la recherche (7); mais, peut-être parce que les stations étaient aussi proches des sièges de sociétés de développement, ou que les chercheurs rencontraient fréquemment les ingénieurs et autres agents de ces organisations, ou encore qu'ils passaient d'une organisation à l'autre, toujours est-il que les chercheurs ont voulu expliciter leurs relations. C'est peut-être une des raisons qui explique que le terme qui consacre l'évolution de la recherche agronomique française outre-mer soit "recherche-développement" et non recherche sur les systèmes de production comme chez les anglo-saxons.

Il est certain que les Institutions anglo-saxonnes de recherche (universités et centres internationaux) sont bien plus éloignées des organisations de développement sur le terrain que les institutions françaises dans les pays d'influence correspondants. D'ailleurs, le point de départ des "farming systems researches" était, selon FRESCO, beaucoup plus intellectualisé: c'était la crainte de voir se marginaliser un très grand nombre de petits paysans.

3.3 Les concepts anglo-saxons de la recherche "Farming systems" et ses méthodologies générales.

Pour lutter contre la marginalisation, et parce que les recherches technologiques classiques ne prenaient pas en compte les "circonstances" des petits paysans, l'idée de départ était de promouvoir des recherches participatives avec ceux qui avaient des ressources limitées pour mettre au point de nouvelles technologies. On travaille donc directement au niveau de systèmes de production (farming systems) définis ainsi (les définitions suivantes sur les concepts et les méthodes ont été empruntés à FRESCO, 1984):

"a farming system is not simply a collection of crops and animals to which one can apply this input or that, and expect immediate results. Rather it is a complicated intewoven mesh of soils, plants, animals, implements, workers, others inputs and environmental influences with the strands held and manipulated by a person called the farmer who, given his preferences and aspirations, attempts to produce output from the inputs and technology available to him." (CGIAR, 1978. - A review of farming systems research at the International Agricultural Centres. - Rome)

"Farming systems research is aimed at enhancing the efficacy of farming systems through the better focussing of agricultural research so as to facilitate the generation and testing of improved technology". (SHANER e.a, 1981. - Farming system research and development guidelines for developing countries. - Westview Press, BOULDER, Colorado.)

La méthodologie doit suivre le canevas suivant:

- 1 former une équipe pluridisciplinaire attachée à un CIRA,
- 2 identifier les objectifs de recherche,
- 3 analyser des structures techniques et économiques des systèmes de production pour travailler ensuite par catégorie de système,
- 4 identifier les potentiels d'innovations,
- 5 tester en station et en exploitation,
- 6 collaborer avec des programmes nationaux de recherche,
- 7 répéter les expérimentations (avec les centres de recherche des pays associés),
- 8 transmettre les innovations réussies aux services de vulgarisation,
- 9 récupérer les résultats de la vulgarisation aux niveaux des programmes nationaux et du CIRA,
- 10 Le CIRA a la responsabilité du réseau et assure la formation des chercheurs.

Comme nous l'avons laissé entendre précédemment, le dispositif est centré sur un vaste organisme de recherche qui met au travail toute une série d'équipes nationales, tandis que les services de vulgarisation restent à l'écart du processus de recherche, n'intervenant que pour confirmer la validité des modèles mis au point sur des exploitations partenaires.

A part le fait que nous voyons là un exemple de domination scientifique qui pourrait accompagner des stratégies géo-politiques, nous constatons que l'objet scientifique est bien un ensemble de systèmes -diverses exploitations agricoles -, mais ces systèmes sont considérés comme indépendants les uns des autres.

Il existe bien entendu des variantes à ce "système" (le mot signifie bien ici ensemble organisé d'éléments intellectuels), à commencer par ceux qui estiment suffisante l'étude des systèmes de cultures (cropping systems research) comme l'IRRI, et ne se préoccupent pas trop des systèmes de production. "Cropping system" signifie:

"the crop production activity of a farm, with its components: physical and biological factors as well as technology, labour and management".

(ZANDSTRA e.a., 1981. - A methodology for on-farm cropping systems research. - IRRI, Los Baños)

La recherche consiste à accroître la production dans l'ensemble des parcelles de l'exploitation. La méthode consiste à:

- 1 sélection des zones cibles (représentatives de régions homogènes et prioritaires pour le gouvernement,
- 2 description des zones axée sur les "types de champ" (définis selon la répartition des cultures dans l'espace et dans le temps, et selon la conduite des cultures); on y ajoute les types d'exploitations mais dans le sens de préciser la description des types de champ,
- 3 établissement de "modèles de culture" alternatifs prenant en compte leur viabilité technique et économique,
- 4 test de modèles dans des champs de paysans mis en culture par l'équipe de recherche,
- 5 programme de tests de pré-production puis de production pilote par des paysans en vue de transmettre à la vulgarisation les modèles qui marchent,
- 6 formulation du programme de production consistant à former le personnel de vulgarisation par l'équipe de recherche, et à assurer la coordination institutionnelle pour la diffusion des intrants et l'organisation de la commercialisation.

Le CIMMYT collabore selon une procédure analogue avec les instituts de recherche nationaux du Mexique, de Panama, de l'Equateur...etc.

Les nuances de concepts entre l'approche "farming systems" et l'approche "cropping systems" doivent probablement être mises en rapport avec les initiateurs des ces opérations. S'ils sont économistes, ils opteront d'avantage pour la première, s'ils sont agronomes pour la seconde. Cependant ce qui les différencient apparaît surtout dans le processus de sélection des partenaires, soit après l'analyse préalable des systèmes de production, soit après celle des types de champ.

Ensuite l'objectif reste identique: améliorer la recherche agronomique en station en lui fournissant une problématique issue du terrain et tester les résultats des nouvelles recherches avec le groupe de paysans correspondants du projet. (d'après DILLON, ANDERSON, 1983, cité par TOURTE, 1984).

Après évaluation des résultats obtenus selon ces modèles de recherche, il est apparu que tous les paysans n'acceptaient pas le(s) modèle(s) -- dans les deux cas, le modèle n'est pas instrument mais modèle à imiter -- et que les rendements restaient inférieurs aux potentiels.

Des agronomes et des économistes ont introduit la notion de "yield-gap", littéralement la brèche dans le rendement": il s'agit de comprendre les contraintes physiques, biologiques et socio-économiques qui expliquent l'écart entre le potentiel et le réel, et de déterminer un rendement économiquement viable (FRESCO)(8). La socio-économie intervient le plus souvent pour faire une évaluation ex-post de l'introduction des nouveaux modèles. En dernier recours, les sociologues seront chargés d' "expliquer les réticences ou de démontrer l'effet pervers de certaines organisations" (DILLON,e.a).

Comme nous l'avions remarqué avec MAYMARD dans les approches disciplinaires (par. 2.8), les objectifs de ces recherches anglosaxonnes sont à court terme: on ne cherche pas à expliquer les différences ni à expliquer les faibles productivités agricoles (TOURTE,1984): il faut trouver directement les voies et moyens d'intensifier la production d'un type de champ ou d'un ensemble de types de champ présents dans les types d'exploitation agricole retenus.

En pratique, cela fait beaucoup de classifications selon des critères qui relèvent généralement du présupposé sur les différences significatives (comme le fameux Système des naturalistes du XVIII^e Siècle). Elles sont très lourdes à établir, difficiles à restituer, pas toujours évidentes à employer au niveau des "domaines de validité" et de la vulgarisation. Dans ces conditions, il arrive que l'on procède à des extensions des résultats d'étude d'un système de production (d'une exploitation) en affirmant sa représentativité en tant que système de production régional dominant. Comme nous l'avions souligné à propos des économistes ruraux (J 24), il semble que ce procédé soit un abus conceptuel. Le GRET (1986) insiste en affirmant que "l'agrégation de systèmes de production ne constitue un système d'ordre supérieur que si les interactions sont prises en compte, ce qui n'est pas le cas général".

3.4 Critiques anglo-saxonnes des approches "Farming and Cropping systems".

C'est en réaction contre "les études rurales considérées comme l'une des plus inefficaces industries du monde" (expression de BEEBE, 1985) qu'une approche nouvelle a été développée (surtout dans les centres de recherches aux moyens financiers limités): the Rapid Rural Appraisal (évaluation rurale rapide).

Il s'agit d'un diagnostic mené sur une petite région par un groupe d'une dizaine de spécialistes répartis à part égale entre la technologie et la socio-économie. Le passage sur le terrain ne dure que quelques jours à l'issue desquels l'équipe prétend pouvoir formuler une problématique détaillée et orientée les recherches. On éviterait ainsi les fausses routes découvertes plus tard dans l'approche farming systems.(9)

Les promoteurs de ces diagnostics rapides utilisent un argument nouveau, dans les approches anglo-saxonnes: contrairement la recherche "farming systems" qui a tendance à prendre un système de production moyen, l'évaluation rapide doit insister sur la diversité des systèmes de production et préciser leurs problèmes majeurs en mettant à jour, pour chaque groupe identifié, "les comportements rationnels et finalisés par les priorités suivantes:

- obligations sociales et culturelles de la communauté;
- approvisionnement quotidien en vivres préférés;
- revenu pour satisfaire d'autres besoins primordiaux;
- revenu supplémentaire."

(COLLINSON, 1982 cité par BEEBE, 1985 et par le GRET, 1986)

Séduisante par son approche plus ouverte sur la diversité des exploitations et des objectifs variables des paysans, l'évaluation rurale rapide trouve ses limites dans le processus de collecte des informations assez empirique (l'enquête avec questionnaire est absolument condamnée). On fait confiance à l'intuition d'une série de "spécialistes éminents". Il est légitime de penser qu'on ne fait qu'ajouter des impressions, certes complémentaires, mais avec des risques d'erreurs sur les systèmes dont la complexité et les interactions apparaissent rarement au premier coup d'oeil.

Il n'empêche que cette évaluation peut effectivement aider un chercheur à démarrer une opération de recherche systémique en partant des multiples hypothèses soulevées par l'équipe d'évaluateurs. Cela éviterait certaines mésaventures arrivées dans la recherche outre-mer.

Ces critiques anglosaxonnes sur l'approche farming systems rejoignent celles des tenants de la recherche développement en France. Non seulement, ces derniers insistent sur l'analyse de la diversité du monde rural, mais estiment généralement qu'il faut tenir compte des rapports sociaux existants qui influent en particulier sur les pratiques communes des agriculteurs, comme, par exemple, le droit de vaine pâture.

On peut aussi de référer aux cas cités au préalable, quand l'Etat intervient directement dans les prises de décisions des paysans soit en leur imposant un assolement, soit en contrôlant les "systèmes d'irrigation", soit les deux (périmètres égyptiens, algériens, marocains, maliens, etc...).

Sans aller jusqu'à une hypercentralisation des décisions, tous les périmètres irrigués du monde fonctionnent sur la base de règles communes de partage de la ressource, plus ou moins équitables.

On ne saurait comprendre les systèmes de productions des exploitations sans comprendre leurs relations, leurs environnements, leurs échanges, leurs conflits...etc. On a bien affaire à un système d'ordre supérieur avec des compartiments liées par des fonctions de production, d'échanges, de régulation, d'information et de contrôle.

Le seul problème conceptuel autour de ce super-système appelé en France "système agraire" est de savoir s'il est vraiment organisé en fonction d'un but ?

Cela paraît clair dans certains cas: l'organisation de la maîtrise collective de la crue du Nil répondait jusqu'au XIXe siècle à un but pour tous les membres de la société: la production vivrière partagée entre l'Etat et les communautés paysannes, et la maintenance du dispositif complexe de dérivation des hautes eaux: il en allait de la vie ou de la mort.

C'est moins évident pour des sociétés très segmentées où chaque individus ou groupes d'individus croit en sa complète autonomie et fonctionne selon ses objectifs.

Cependant il est probable que la fixation des objectifs se réfère aux acquits culturels et techniques de la société (voir De Schlippe), et que, si les objectifs de deux groupes sont contradictoires, il se produise des ajustements permanents.

On doit donc pouvoir analyser non pas le but d'un système agraire mais la somme des buts de ses composantes et sa résultante.

De telles réflexions ne sont pas partagées par tous les partisans de la recherche-développement comme nous allons le voir.

3.5 L'approche système de production comme conseil de gestion

Nous nous référons ici à une approche développée au sein de l'IRCT (Institut de Recherches sur le Coton et les Textiles) et exposée notamment par FAURE e.a (1984) dans une communication au 4e Congrès de l'Association Européenne des Economistes Agricoles, intitulée "systèmes de production en zones cotonnières d'Afrique, proposition pour une démarche pour le conseil de gestion".

La justification de cette recherche est la suivante:

"tôt ou tard, les paysans sont ou seront en pleine transformation par le passage de l'autoconsommation vers une économie de marché, de la culture itinérante vers une culture fixée, de la culture manuelle à une culture mécanisée".

Le recours au concept de "système de production" (et au conseil de gestion) à pour but d'aider les paysans à "passer un cap". En réalité, les catégories visées par le projet sont celles qui ont un champ de coton, et l'on cherche à préparer les paysans concernés à une transformation déjà décrite. La démarche précise que les chercheurs se mettent à l'écoute des paysans pour leur fournir des conseils et non des mots d'ordre comme avait coutume de le faire la Société de développement.

Cependant, elle tient compte des objectifs de l'Etat et de la Société de développement pour rester en harmonie avec tous les partenaires. Cette vision est représentée par un schéma très simple et très courant dans les instances françaises de "recherche-développement":

RECHERCHE

DEVELOPPEMENT

PAYSANS

Comme dans les approches anglo-saxonnes, la méthodologie développée à l'IRCT est très codifiée:

- 1 Zonage et typologie de régions avec utilisation de méthodes "objectives" par classification automatique,
- 2 Etudes et enquêtes préalables pour définir des petites régions et choisir des villages représentatifs,
- 3 Typologie des Unités de Production Agricoles (selon la taille, le niveau d'équipement, les types de production souvent liées à l'ethnie),
- 4 Etudes de cas d'UPA afin de connaître les paramètres à collecter dans les UPA à conseiller.

Le recours à l'ordinateur est jugé "plus objectif" ce qui nous semble dangereux: une manipulation de chiffres rend compte de la réalité qu'en fonction des données qu'on retient et de leurs qualités.

Nous empruntons à G. SAUTTER son cri d'alarme: il ne faut pas se contenter de procédures d'automatisation de l'acquisition des connaissances ou de l'action en milieu rural; cette attitude a fait des ravages dans les années 1960 en Afrique avec les grandes enquêtes statistiques.

Le danger de tels dispositifs qui guette les chercheurs serait purement et simplement la paresse intellectuelle ou la satisfaction narcissique de chercher à plier le monde à la forme de son esprit. SAUTTER termine par ces mots: "éliminer le facteur individuel d'appréciation, c'est tenir pour valeur nulle ou en tous cas non pertinente ce que l'on a coutume d'appeler le talent ou le jugement" (note de G.SAUTTER diffusée au DSA/CIRAD en 1985).

3.6 Le Système de production dans l'approche Recherche-Développement.

La définition qui sert de références à la plupart des travaux français qui se réclame de cette approche est attribuée à R. TOURTE (1978):

"combinaison des productions et des facteurs de productions que l'agriculteur raisonne en fonction de ses objectifs et de ses moyens; il se caractérise (et en même temps est largement imposé) par un assolement, un appareil de production, une disponibilité en main d'oeuvre qui constitue en fait la structure de l'exploitation". (10)

Mais l'ambition de la recherche-développement n'est pas seulement de comprendre comment raisonne l'agriculteur une fois ces objectifs connus.

Elle s'intéresse aux systèmes d'ordre inférieur, les systèmes de culture et les systèmes d'élevage, et les systèmes d'ordre supérieur, les systèmes agraires.

Le fameux schéma triangulaire entre le recherche, le développement et les paysans constitue en soi un objet de recherche:

"mieux gérer les exploitations, aménager les espaces, professionnaliser l'agriculture: trois objectifs majeurs du développement rural auxquels contribuent la recherche sur les systèmes de production et les systèmes agraires (LEFORT, 1984).

La méthodologie correspondante n'est plus linéaire (plusieurs variantes sont admises dans la succession des opérations), ce qui ne veut pas dire qu'elle ne soit pas normalisée en fonction de formes de recherche et d'intervention (analyse, constitution de références, diffusion) et d'échelles d'études (la parcelle ou le troupeau, l'exploitation agricole, les petits espaces ruraux):

	parcelle troupeau	exploitation agricole	petits espaces ruraux
analyse des systèmes agraires	problèmes des systèmes techniques	typologies dynamiques	unités dynamiques
constitution référenciels techniques	référenciels techniques nouveaux	fonctionnement dynamique des exploit. aides à la décision	références nouvelles pour l'aménagement de l'espace
appropriation diffusion, tests, conseils	vulgarisation de techniques	conseil de gestion technico-économique	conseils d'aménagement

La recherche-développement est construite autour de l'idée que les systèmes considérés sont des modèles à changer grâce à de nouveaux référenciels techniques. Sur le fond, le procédé ne diffère guère de l'approche "farming systems". On y trouve également le diagnostic, l'élaboration de référenciels, l'expérimentation, la vulgarisation, la généralisation. Par contre elle brasse plus large en affichant des objectifs de transformation du milieu étudié (la petite région). En conséquence, elle est beaucoup plus difficile à maîtriser.

3.7 Critiques françaises à l'approche Recherche-Développement.

La pratique de la recherche-développement fait apparaître de grandes faiblesses dans les dispositifs existants. Nous allons essayer de synthétiser leurs caractères à partir d'une note de travail écrite en 1985 avec P. GRANIER suite à diverses missions d'appui ou d'évaluation:

1. *Le caractère marginal.*

Il s'applique aux régions géographiques choisies, à l'environnement socio-politique et administratif, et enfin à l'ensemble des recherches nationales des pays concernés; la zone d'étude est souvent très localisée: un village ou parfois quelques paysans d'un village; enfin, l'étude est rarement confiée à une équipe de chercheurs mais à un seul chercheur éventuellement assisté d'un autre.

2. *Le caractère idéologique de l'approche mis en oeuvre par de jeunes chercheurs peu expérimentés.*

Il se traduit par le refus de tenir compte de travaux anciens (manque de culture scientifique); par l'idée qu'il ne faut employer que des ressources locales (du village) alors que des innovations extérieures pourraient s'avérer parfaitement adaptées. Du fait du choix de la zone, on ne travaille que sur le système agricole local sans pouvoir resituer ce travail dans un ensemble régional plus vaste.

3. *Le glissement du chercheur angoissé face à son objet d'étude.*

Il apparaît d'abord dans l'activisme qui consiste à prendre des responsabilités locales qu'il n'a pas à assumer: cela l'amène à agir dans des domaines hors de sa compétence, en coupant par ailleurs le milieu étudié des services normaux, ce qui isole d'autant plus la zone étudiée après le départ du projet de recherche.

Le glissement se poursuit dans la réalisation d'expérimentations dont les résultats sont des échecs répétés, acceptés en tant que tels au début du projet puisqu'ils renseignent sur le milieu, mais préjudiciables à l'opération de recherche dans la mesure où les paysans n'ont pas toujours les moyens de les interpréter.

Ces déviations s'amplifient du fait des conditions d'existence et de travail souvent très difficiles. La carrière du chercheur sur le terrain étant courte, il a le souci d'arriver à tout prix à des résultats: cela l'entraîne à des "marchandages". Il recherche des "complicités". Les paysans eux-mêmes peuvent tirer un certain avantage de l'expérience et essayer de satisfaire leur partenaire.

Au bout du compte, les résultats obtenus ne sont guère reproductibles. A terme, le chercheur se décourage car il finit par comprendre que sa carrière scientifique est compromise par cette expérience professionnelle.

Il y a finalement une sorte de recul sur l'ensemble du projet et l'analyse initiale en terme de système agraire puisque l'on aboutit dans la plupart des cas à des petites innovations sur quelques parcelles. Par ailleurs, il n'est pas logique de fixer toute l'intervention sur l'acceptation d'une innovation trouvée au niveau d'une parcelle par une population qui a intégré dans ces stratégies la migration ou le commerce ou l'expatriation ou encore la pluri-activité.

(d'après GRANIER P, RUF Th., 1985. - note de travail intitulée: "à propos de la recherche-développement". MONTPELLIER, 5p dactyl.)

Ainsi n'est-il pas facile de raisonner en "systèmes" et en "interventions sur les systèmes". Les démarches systèmes ou recherche-développement ont en grande partie manqué leurs objectifs soit parce qu'elles ont sous-estimé la complexité des systèmes complexes qu'elles étudiaient; soit parce qu'elles ont surestimé la capacité des chercheurs à prendre en compte tous les facteurs; soit parce qu'en voulant tout étudier, leur objet de recherche s'est réduit spatialement et qu'il est devenu impossible de tirer des enseignements d'une expérience trop localisée; soit encore que les dispositifs d'étude extrêmement bien pensés au bureau n'ont pas résisté aux contraintes du terrain. Il n'est pas du tout évident d'osculter une paysannerie si celle-ci perçoit mal votre présence. C'est aussi vrai si elle la perçoit bien (trop bien).

A la décharge de tous les chercheurs engagés dans ces opérations, il faut bien reconnaître que nous sommes encore très loin de savoir "modéliser" les systèmes que nous définissons (nous parlons ici de modèles-instruments). L'informatique (qui accompagne "systématiquement" les recherches "systèmes") est plutôt utilisée à des fins de traitements statistiques, pour des banques de données régionales, ou encore pour la cartographie automatique.

La réalisation de modèles, qu'ils viennent de l'écologie ou de l'économie, qu'ils soient mathématiques ou de simulation, aboutit seulement à des résultats partiels et insatisfaisants. Les modèles analogiques, comme par exemple les jeux de rôle, n'ont probablement pas assez été développés (surtout dans l'aspect des interactions entre exploitations dans un système agraire). Il est possible que le développement de la micro-informatique ait occulté ce champ d'analyse, du moins pour l'agriculture. Par contre, le travail sur des modèles cognitifs ou explicatifs des fonctionnements d'exploitation agricole a constitué l'une des bases du renouvellement de la discipline agronomie en France, ainsi que l'un des moyens de rencontre avec d'autres disciplines des sciences économiques et sociales.

4. L'EFFORT DE CONCEPTUALISATION SUR LES SYSTEMES DE PRODUCTION DANS LA RECHERCHE AGRONOMIQUE FRANÇAISE.

Le "chef de file" qui a amené une partie des agronomes à redéfinir leur discipline est incontestablement M. SEBILLOTTE, professeur d'Agronomie à l'Institut National Agronomique de Paris-Grignon, et également responsable d'une unité de recherche de l'INRA- Département Systèmes agraires et Développement.

Plusieurs publications font autorité (1974, 1978, 1979, 1985, 1986, et CAPILLON, SEBILLOTTE, 1980) sur le rôle de l'agronome, ses concepts, ses méthodes).

SEBILLOTTE commence par rappeler les trois principales questions que l'on pose à un agronome:

- 1 Résoudre un problème sans mettre en cause le système de production adopté par l'agriculteur ("système de production" a été défini au § 2.4)
- 2 Contribuer à l'étude des transformations possibles d'un système de production (par exemple en modifiant l'un des sous-systèmes),
- 3 Avoir un rôle prospectif sur l'agriculture d'une région et les voies possibles de son développement.

"L'agronome doit admettre que l'exploitation agricole est un ensemble complexe et que les choix ou décisions doivent être abordés non d'une manière simplificatrice, mais en tenant compte du système de production actuel, de son fonctionnement, des objectifs de l'agriculteur, de son expérience passée qui lui donne le recul nécessaire (que l'agronome n'a généralement pas) pour adopter ou rejeter une innovation, une transformation..."
(SEBILLOTTE, 1979)

Pour cette nouvelle "école de l'agronomie", l'agriculture n'est pas le prolongement de l'agronomie scientifique traditionnelle: c'est une activité autonome qui a ses propres règles, avec des finalités radicalement différentes.

C'est pourquoi l'agronome chargé d'étudier des exploitations agricoles doit s'intéresser aux mécanismes de prises de décision dans l'exploitation.

Pour aborder l'exploitation agricole, il dispose des clefs suivantes:

- 1 L'agriculteur gère son instrument de production en vue de trois grands objectifs dont l'importance varie au cours de la vie de l'exploitant:
 - assurer au moins sa subsistance et celle de sa famille,
 - si possible, maintenir en état voire améliorer son instrument de production pour pouvoir conserver son activité (et éventuellement la transmettre),
 - maintenir et améliorer son statut social.
- 2 Le choix de son système de production (dans le cadre de son environnement) est en rapport avec ces objectifs, mais aussi avec diverses contraintes imposées notamment par:
 - l'histoire de l'exploitation,
 - les objectifs d'organisation de la vie familiale (par exemple sur le temps de travail).

Cette approche est sûrement celle qui vise la compréhension la plus complète de la gestion d'une exploitation. C'est vraiment une prise de conscience de "système complexe" (voir] 1). En outre, les méthodes de travail ont suivi dans la même voie, c'est à dire qu'elles sont devenues complexes parce qu'elles mettent en jeu des techniques très diverses d'observation, de suivis, de mesures et d'enquêtes.

L'instrument de production peut se décrire comme constitué:

- de la terre (surfaces, caractéristiques physiques, types de faire- valoir),
- de la force de travail familiale et non familiale disponible,
- des cheptels,
- des bâtiments,
- du matériel,
- des stocks divers,
- des moyens de financement propres ou non.

La définition du concept de "système de production" s'affine:

"à l'intérieur du champ des possibles (selon le milieu), selon les éléments de l'instrument de production, selon les possibilités de productions végétales et animales que permet l'écosystème, selon les objectifs qu'il s'est donné, l'agriculteur combine les éléments constitutifs de son exploitation en un système de production qui comprend des systèmes de cultures et souvent des systèmes d'élevage" (d'après SEBILLOTTE, modifié).

Cette définition a le mérite d'être plus dynamique, dans sa forme, que les précédentes: le système n'est pas immuable. Il est en mouvement permanent. Si le champ des possibles évolue, si les objectifs familiaux changent, la combinaison ne sera plus la même. On rejoint l'idée de De SCHLIPPE sur les adaptations du système d'agriculture et des types de champs en fonction des événements socio-culturels internes à la concession familiale et en fonction d'événements externes.

Pour analyser ces adaptations, on essaye de comprendre les prises de décision ayant abouti à la situation actuelle en fonction de trois grilles d'analyse:

- quelles sont les fonctions globales que la famille assigne à l'exploitation ?
- quelles sont les choix stratégiques à moyen terme ? c'est la description des composantes du système de production,
- quels sont les choix tactiques ? C'est la mise en oeuvre quotidienne du système de production avec ses adaptations en fonction d'événements plus ou moins aléatoires.

Ces définitions ouvrent de vastes portes à d'autres disciplines. Ainsi, le champ des possibles n'est pas perçu comme seulement technique: il dépend aussi des relations entretenues avec ceux qui utilisent également les mêmes ressources: accès à la terre, accès à l'irrigation quand un réseau existe, accès à la force de travail disponible hors exploitation, accès à l'outillage, accès au crédit...etc.

Dans le cadre de sa rationalité personnelle, les choix de l'agriculteur sont en principe cohérents: ils traduisent, à partir de sa vision de son environnement socio-économique et de ce qu'il se croit capable de réaliser, la façon dont il pense atteindre ses objectifs. C'est une partie du rôle de l'agronome que de juger la conduite des exploitations par rapport à la cohérence de l'agriculteur.

Il devra décrire le système complexe avec minutie, et rendre compte des processus de production en élaborant un modèle explicatif et cognitif: celui-ci sert à échaffauder des hypothèses qu'on vérifie en mesurant les flux divers de matières, de travail, d'information et d'argent entre sous-systèmes.

Le diagnostic portera d'une part sur certains aspects sectoriels du fonctionnement du système de production comme par exemple l'adéquation entre l'offre et la demande fourragère (relation entre les systèmes de culture et les systèmes d'élevage), et d'autre part sur l'ensemble du système de production, c'est à dire sur sa reproductibilité. Pour y arriver, on disposera de trois bilans complémentaires:

- un bilan de fertilité (minéral, organique, hydrique, parasitaire),
- un bilan des temps de travaux,
- un bilan financier (compte d'exploitation et compte de trésorerie).

Cette approche, parce qu'elle est complète et complexe, a bien entendu des limites qu'il serait vain de minimiser: d'abord, elle met en oeuvre un processus d'observation et d'enquête très lourd qui suppose d'entretenir avec le ou les paysans partenaires des relations durables tout au long de la phase d'étude.

Ensuite, on rencontre toujours des difficultés à dévoiler les objectifs des familles surtout si chaque membre n'est pas prêt à les expliciter en cas de conflit familial ou en cas d'objectif non avoué. Par ailleurs, on rencontre toujours d'énormes difficultés à représenter sous forme de graphiques le fonctionnement de systèmes complexes.

Enfin, la mesure des flux, les unités pertinentes, la variation relative de la valeur réelle d'une unité de mesure, posent des problèmes non négligeables. Mais, comme nous l'avons déjà dit, cette démarche a le grand mérite d'ouvrir des perspectives de recherches nouvelles où chaque discipline peut resituer son travail propre et aboutir à un diagnostic complet, à condition que son objet d'étude soit bien, à un moment donné, une (ou plusieurs) exploitation(s) agricole(s).

Ainsi, la compréhension de la cohérence entre la conduite d'une exploitation et les objectifs de l'exploitant et de sa famille passe par la mise à jour des relations entre la famille et l'exploitation et par l'analyse de l'histoire de l'exploitation.

L'enquête historique va beaucoup aider à la formulation des objectifs familiaux. Mais son intérêt est beaucoup plus large que cela. D'abord, cette approche suscite l'intérêt de l'agriculteur, qui est plus habitué, lorsqu'il est enquêté, à des questions sur ses surfaces, ses rendements et son revenu. Là, il trouve généralement l'occasion de s'expliquer sur ces choix anciens, de décrire les difficultés qu'il a rencontrées, d'en signaler les origines et de préciser les dates-clés de l'histoire où l'exploitation et la famille sont souvent liées. On va donc s'attacher à reconstituer, sur la période dont se rappelle l'agriculteur, l'évolution des différents éléments et sous-systèmes de l'exploitation: famille, terre, système d'irrigation éventuel, bâtiments, matériels, systèmes de cultures, systèmes d'élevage.

L'analyse historique apporte trois éléments déterminants pour comprendre les situations actuelles:

- la formulation des objectifs la plus vraisemblable,
- l'importance des contraintes héritées du passé même récent,
- des données plus objectives sur l'exploitation actuelle parce qu'elles ont été fournies au cours de l'exposé d'une dynamique.

A partir des succès découverts par cette forme d'enquête, il est apparu naturel de procéder à des comparaisons d'histoire entre exploitations, ou, selon le terme consacré, à des comparaisons de "trajectoires d'exploitation". Il en résulte une typologie des trajectoires d'exploitation dont l'importance est considérable, car elle offre trois utilisations majeures:

- 1 C'est une base beaucoup plus intéressante pour étudier des systèmes de production très divers (plutôt qu'une typologie basée sur des statistiques de structures);
- 2 Sur le plan scientifique, on peut saisir le fait que certaines exploitations se sont différenciées à partir d'une situation apparemment semblable, et donc travailler sur les processus de différenciation sociale, économique et technique.;
- 3 Sur le plan des organisations de développement, c'est une base très intéressante de réflexions sur les actions à entreprendre selon les trajectoires mises à jour.

"Il ne faut pas oublier que l'acte technique, si important qu'il soit par ailleurs, n'est jamais un acte en soi, et qu'il faut le penser comme partie d'un tout auquel il doit, le plus souvent, s'adapter" (SEBILLOTTE, 1985).

De nombreux travaux se sont inspirés de cette conception nouvelle de l'agronomie, et il nous est impossible d'en dresser une liste exhaustive à partir de QUITO.

A titre d'exemples significatifs, nous pouvons citer le travail de PAPY (1984) sur des exploitations de périmètres irrigués du Maroc et celui de MORLON (e.a, 1986) sur des exploitations de l'altiplano péruvien.

CONCLUSION

la compréhension des "systèmes de production", ouverture sur une nouvelle discipline ou base d'approches pluridisciplinaires ?

A la lecture des paragraphes précédants, on se rend bien compte de l'extra-ordinaire ouverture du champ balayé par les "nouveaux agronomes" français: de l'analyse, à l'échelle de la parcelle, de l'évolution d'un peuplement végétal sous l'effet du milieu et des interventions de l'agriculteur sur le milieu jusqu'à l'analyse, à l'échelle de la région, des évolutions des systèmes de production.

Cette évolution du rôle de l'agronome a beaucoup influencé les économistes ruraux, en particuliers ceux qui sont passés par les écoles d'agronomie et qui se nomment eux-mêmes "agro-économistes". Partis du concept de systèmes agraires et de recherches sur les groupes sociaux ruraux, ils ont rejoint les agronomes sur les analyses historiques (et réciproquement), puis ont trouvé un terrain d'entente sur les concepts que nous venons d'exposer (ont-ils influencés l'évolution de la pensée agronomique ? Il faut le croire puisque les nouvelles structures de recherche portent toujours le terme de "systèmes agraires").

Un très bon exemple de synthèse de ces approches est donné par M. DUFUMIER (1985) qui estime indispensable d'étudier les systèmes de production dans une double perspective:

- 1 du point de vue de leur cohérence interne, étant donné les moyens de productions disponibles et les objectifs poursuivis par les agriculteurs;
- 2 du point de vue de leur rationalité économique, étant donné les conditions sociales de production dans lesquelles ils s'inscrivent. Et de dénombrer quatre grands types de rationalités:
 - la recherche de l'auto-subsistance,
 - la recherche de la plus grande marge brute à l'hectare,
 - la recherche de la meilleure rémunération du travail familial (entraînant très souvent des stratégies de cultures extensives,
 - la recherche du plus grand taux de profit.

Une application de cette recherche "système" a notamment été tentée en Thaïlande par TREBUIL (e.a., 1983).

Dans l'ensemble, le champ de recherche est devenu très vaste. On peut se demander si ce n'est pas prétendre à l'exhaustivité. Cette critique vient notamment de certains géographes qui n'apprécient guère cette phase d'expansion de l'agronomie associée à l'agro-économie (c'est aussi ce que nous reprochions à la géographie exposée par G.SAUTTER et présentée au paragraphe 2.5).

Le grand mérite des concepts de systèmes de cultures, systèmes d'élevage, systèmes de production, systèmes agraires est qu'ils sont compatibles et correspondent bien à différents niveaux d'observation, donc théoriquement peuvent donner lieu à des recherches simultanées de chercheurs de disciplines différentes.

L'autre mérite est que ces concepts concernent bien des organisations complexes réelles, c'est à dire des "ensembles d'éléments en interaction dynamiques organisés en fonction de buts (pour reprendre la formule de De ROSNAY au pluriel), et qu'ils prêtent donc à modélisation.

L'un des dangers de cette approche fondamentalement pluridisciplinaire serait qu'elle soit toujours menée par les seuls agronomes, fussent-ils nouveaux ou fussent-ils agro-économistes; ou par les seuls géographes qui espèrent eux aussi comprendre la réalité d'ensembles complexes, les unités de paysage et leurs agencements.

Il serait en effet dommage que chaque discipline voit d'un mauvais oeil, sous prétexte d'élargissement des champs disciplinaires, les tentatives des autres pour forger des concepts acceptables par tous, c'est à dire observables et analysables par tous, quelque soit le niveau d'observation.

NOTES

- (1) On pourrait choisir des exemples tant dans les travaux marqués par l'idéologie marxiste que ceux inspirés d'une vision libérale du monde.
Voir BOIRAL e.a. 1985. - Paysans, experts et chercheurs en Afrique Noire.- CIFACE KARTHALA, Paris: "la réalité des faits de développement semble plus complexe que ce que les théories libérales ou marxistes tentent de décrire".
- (2) trouvée par exemple chez J. ARRIGHI DE CASANOVA, 1979. - Les aménagements fonciers en Afrique Noire. - SATEC, Paris 146p, p.6)
- (3) le sous-titre des premières éditions indique: "où est représenté tout ce qui est requis et nécessaire pour bien dresser, gouverner, enrichir et embellir la maison rustique".
L'ouvrage d'O. de SERRES sera régulièrement publié jusqu'au XIXe siècle.
Les agronomes actuels qui ont adoptés une démarche systémique le considèrent comme le premier agronome.
Au milieu du XVIIe siècle, l' "agronome" est le titre d'un "dictionnaire portatif du cultivateur contenant toutes les connaissances nécessaires pour gouverner les biens de campagne et les faire valoir utilement; pour soutenir ses droits, conserver sa santé et rendre gracieuse la vie champêtre".
- (4) termes de M. JOLLIVET dans la préface à la thèse de K. ELLSA -SSER, 1985.
- (5) Il est curieux de constater que le mot "contrainte" est souvent employé pour qualifier ce qui n'appartient pas à son champ disciplinaire tandis que le mot "facteurs" correspond à ce que l'on pense appréhender dans la réalité complexe: ainsi les économistes parlent de facteurs socio-économiques et de contraintes écologiques, et les agronomes de facteurs physiques ou biologiques et de contraintes socio-économiques...
On peut dire la même chose des mots "organisation" et "conditions".
- (6) Circonstances et domaines de validité sont des expressions de l'approche "farming systems".
- (7) Les "unités expérimentales du Sine Salum" au Sénégal sont la tarte à la crème de cette approche nouvelle de l'agronomie tropicale française.
- (8) cet aspect a été traité en France par BOIFFIN et SEBILLOTE (1982): fertilité, potencialités, aptitudes culturelles, significations actuelles pour l'agronome. - in BTI N°370-372, Paris, pp ...
Par ailleurs divers agro-économistes français ont tenté d'expliquer l'écart entre le rendement en station et le rendement réel en ayant recours à la fois à la micro-économie classique et aux analyses agro-économiques.
Nous citerons notre propre contribution à la compréhension des prises de décisions des petits planteurs de café en Côte d'Ivoire et au Togo: RUF F., RUF Th., 1987. - Le café et les risques de l'intensification, cas de la Côte d'Ivoire et du Togo. Communication pour l'ouvrage collectif de l'ORSTOM sur "le risque en agriculture" à paraître en 1988. 35p dactyl.
- (9) cette évolution vers des opérations coup de points existent également en France (voir LEFORT, 1985).
Dans l'évaluation de projets de développement, le ministère de la coopération français a fait appel, depuis 1982, à des chercheurs de plusieurs disciplines qui portent un jugement détaillé sur le projet, mais sur la base de travaux nettement plus longs (15 jours de préparation, un mois de terrain, un à deux mois de traitement des informations et de rédaction des rapports).
Enfin la GTZ en Allemagne a mis au point des "conclaves" de spécialistes pour réorienter des projets existants mais en manque d'objectifs (voir les CRD n°5)
- (10) Cette définition est une adaptation de celle de CHOMBARD DE LAUWE (1963) où les objectifs de l'agriculteur ne sont pas précisés.

BIBLIOGRAPHIE

- ARRIGUI De CASANOVA J., 1979. - Les aménagements fonciers en milieu tropical.- SATEC, CNEARC, Montpellier (France), 146p.
- BEEBE J., 1985. - Rapid rural appraisal, the critical first step in a farming systems approach to research.- USAID (Philippines), 36p.
- BENOIT CATTIN M., RUF Fr, 1984. - Diagnostics de systèmes de production en Afrique de l'Ouest.- in: Cahiers Rech.Dévelop., n°3-4, Montpellier (France), pp51-56.
- BOURGEOIS A., 1983. - Une application de la notion de système l'exploitation agricole.- in: Agriscope 1983, vol.1,n°1 Angers (France). publié en 1985 in: La gazette des systèmes. DSA/CIRAD n°4 pp35.48 Montpellier (France)
- CAPILLON A., SEBILLOTTE M., 1980. - Etude des systèmes de production des exploitations agricoles.- Com. Carribean Semin. on farming systems research methodology, Point à Pitre.INRA (Guadeloupe, France). in: actes, pp 85-111.
- CGIAR, 1978. - A review of farming systems research at the international Agricultural Centres. Rome (Italie). cité par FRESCO (1984).
- CHATELIN Y., RICHARD J.F., LENEUF N., 1982. - Modèles verbaux et transdisciplinarité dans l'étude des sols et des paysages (tropiques humides). 1. Essai critique en fonction de l'analyse de système.- in: Cahiers ORSTOM, ser. Pédol., vol. XIX, n°1, 1982, Paris (France), pp 51-63.
- COLLINSON M.P., 1982. - Farming systems research in Eastern Africa: the experience of CIMMYT and some national research services 1976-1981.- Michigan St. Univ., International Development paper n°3, Dept Agric.Econom., East Lansing, Michigan (USA). Cité par BEEBE (1985) et le GRET (1985).
- COUTY Ph., 1979. - Des éléments aux systèmes, réflexions sur les procédés de généralisation dans les enquêtes de niveau de vie en Afrique.- AMIRA n°28, Paris (France), 43p.
- COUTY Ph., LERICOLLAIS A., 1982. - Vers une méthode pratique d'analyse régionale, le cas de la vallée du Sénégal (1957-1980).- AMIRA, note de travail n°36, Paris (France), 115p.
- DILLON, ANDERSON, 1983 ---> voir TOURTE (1984).
- DUFUMIER M., 1985. - Systèmes de production et développement agricole dans le "Tiers-Monde". - in: Cahiers Rech. Develop., n°6, Montpellier (France) pp31-38.
- ELLSASSER K., 1985. - Analyse intégrée d'un espace montagnard nord-méditerranéen, l'exemple de la vallée de Taleyrac en Cévennes.- Thèse Inst. fu -r Landespflge der Univ. Freiburg (RFA), 296p
- FAURE G., JALLAS E., RAYMOND G., 1984. - Systèmes de production en zone cotonnière d'Afrique, proposition d'une démarche pour le conseil de gestion.- Com. congrès Assoc. Europ. Econom. agric., Kiel (RFA) 3-7/09/87, 20p dactyl.
- FRESCO L., 1984. - Comparing anglophone and francophone approaches to farming systems research and extension.- Com. Annual conf. on FSR, Kansas State Univ., Manhattan, Kansas (USA), 35p.
- GRANIER P., RUF Th., 1985. - A propos de la recherche-développement.- DSA/CIRAD, Montpellier (France), 5p dactyl.
- GRET, 1985. - Recherche-développement et farming system research concepts, approches et méthodes.- GRET, Paris (France), 28p.

- IFARC, 1982. - Introduction à la recherche-développement.- fasc.1 Les Cahiers de la Formation Professionnelle à la Recherche en milieu rural des régions chaudes, IFARC-GERDAT (actuellement CIRAD), Montpellier (France), 27p.
- LAVILLE E., 1985. - extraits de M. Foucault sur l'histoire naturelle au XVIIIe Siècle (en réaction contre une démarche "système" au CIRAD).- Lettre du 8.11.1985 adressée au DSA/CIRAD, Montpellier (France).
- LEFORT J., 1983. - Les recherches-développement intégrées en milieu rural.- in: Cahiers Rech.Dévelop., n°2, Montpellier (France), pp 14-21.
- LEFORT J., 1984. - Recherche-développement et vulgarisation.- DSA/CIRAD, Montpellier (France), 12p dactyl.
- LEGAY J.M., 1986. - Méthodes et modèles dans l'étude des systèmes complexes.- Com. Coll. "Diversification des modèles de développement rural: questions et méthodes, Paris 17-18/04/1986.(France) 10p.
- MAYMARD J., 1982. - Systèmes de cultures et systèmes de production.- Note manuscrite sur les concepts colombiens et européens, ORSTOM, Bogota (Colombie), 28p.
- MINVIELLE J.P., 1978. - Méthodologie d'une étude sur les systèmes de production paysans dans la moyenne vallée du Sénégal.- in: Cahiers ORSTOM, sér. Sc. Hum., vol.XV, n°3, Paris (France), pp.221-244. Cité par COUTY, LERICOLLAIS (1982).
- MAZOYER M., 1985. - Rapport de synthèse provisoire du comité "systèmes agraires". Minist. Rech. Technologie, Paris (France), 16p dactyl.
- MORLON P., MONTOYA B., CHANNER S., 1986. - L'élevage dans les systèmes de production ruraux des Hautes Andes péruviennes: étude comparative de cinq familles de l'Altiplano.- in: Cahiers Rech.Develop., n°9-10, Montpellier (France), pp 133-144.
- PAPY F., 1984. - Le fonctionnement des exploitations agricoles irriguées de la plaine des Doukkala (Maroc).- in: Cahiers Rech.Dévelop., n°3-4, Montpellier (France), pp 57-66.
- ROSNAY (De) J., 1975. - Le Macroscopie. Vers une vision globale.- Ed. Seuil, Paris (France). Extraits publiés dans "La gazette des systèmes" n°3, mars 1983, DSA/CIRAD, Montpellier (France), pp13-24.
- RUF Th., 1984. - La coexistence de systèmes de production différents dans une région du delta du Nil: intérêt de l'approche historique pour le diagnostic régional et l'action de développement.- in: Cahiers Rech.Dévelop., n°3-4, Montpellier (France), pp.30-41.
- RUF Fr., RUF Th., 1987. - Le café et les risques de l'intensification, cas de la Côte d'Ivoire et du Togo.- Com. pour ouvrage ORSTOM sur le risque en agriculture à paraître en 1988. 35p dactyl.
- SAUTTER G., 1985. - Note sur la notion de "système agraire" en géographie (titre exact non apparent) diffusée au DSA/CIRAD en 1985, (France), 11p dactyl.
- SAUTTER G., 1985. - Note pour une proposition d'analyse systémique en géographie (titre exact non apparent) diffusée au DSA/CIRAD en 1985, (France), 7p dactyl.
- SHANNER W.W., PHILIPP P.F., SCHMEL W.R., 1981. - Farming systems research and development guidelines for developing countries.- Westview Press, Boulder, Colorado (USA). Cité par FRESCO (1984).
- SCHLIPPE (De) P., 1956. - De l'anthropologie agricole.- in: problèmes d'Afrique Centrale n°33, 3e trim. 1956. Cité par FRESCO (1984) et le GRET (1985).
- SEBILLOTTE M., 1974. - Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome.- in: Cahiers ORSTOM, ser.Biol., n°24, Paris (France) pp.3-25.

- SEBILLOTTE M., 1978. - Itinéraires techniques et évolution de la pensée agronomique.- Acad. agric. France, Proc. Verb. scéance du 14/06/1978, Paris (France), pp 906-914.
- SEBILLOTTE M., 1979. - Agronomie. Documents pour l'enseignement de la première année de la chaire d'agronomie. - INAPG, fev.1979. Paris (France) 5 fasc. multig.
- SEBILLOTTE M., 1979. - Analyse du fonctionnement des exploitations agricoles. Trajectoires et typologies.- in: Eléments pour une problématique de recherche sur les systèmes agraires et le Développement, assemblée constitutive du département SAD-INRA, Toulouse.
- SEBILLOTTE M., 1985. - Agronomie et Agriculture. Document pour l'enseignement de la première année de la chaire d'agronomie. - INAPG, sept.1985. Paris (France) 1 fasc. multig.
- SEBILLOTTE M., 1986. - Fertilité et système de production en région de grande culture, essai de problématique générale.- Com. pour colloque INRA, INAPG, Paris (France), 46p. dactyl.
- SEDES, 1981. -? cité par mémento Ing.agro.
- SERRES (De) O., 1600. - Le théâtre d'agriculture et le mesnage des champs.- Paris (France), rééditions diverses jusqu'en 1804.
- TOURTE R., 1978. - Pour une étude régionalisée des systèmes techniques de production agricole, rapport de mission en Côte d'Ivoire.- IRAT, Montpellier (France), 70p.
- TOURTE R., 1984. - Quelques notes marginales, de traduction, à la lecture de "concept and practice of farming systems research" de J. DILLON et J.K. Anderson, New England Univ. (australie).- DSA/CIRAQ, Montpellier (France) 11p. dactyl.
- TREBUIL G., DUFUMIER M., 1983. - Repères méthodologiques pour la recherche-développement en Agriculture; application à l'initiative d'une opération au sud de la Thaïlande.- in: Cahiers Rech.Dévelop., n°2, pp 35-43.
- WEIGEL J.Y., 1979. - Mode de migration et système de production soninké.- Thèse doct.3e cycle Sc.Econom. Univ. Paris I, Paris (France), 176p multig. Cité par COUTY, LERICOLLAIS (1982).
- ZANDSTRA H.G., PRICE E.C., LITSINGER J.A, MORRIS R.A., 1981. - A methodology for on-farm cropping systems research. IRRI, Los Baños (Philippines). Cité par FRESCO (1984) et le GRET (1985).

*Conf :
Colloque "Día mundial de la Meteorología"
Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INAMHI, Quito, 03/1988.*

HOMOGENEISATION DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES

par Patrick LE GOULVEN *

mars 1988

Nota Bene

Ce texte fait largement référence aux théories développées par Yves Brunet-Moret (4) et Gérard Hiez (6). Ces 2 hydrologues de l'ORSTOM se sont intéressés tout particulièrement au comportement régional des précipitations annuelles dans le but d'élaborer des vecteurs représentatifs de chaque région.

hydrologue ORSTOM, Mission ORSTOM, CP 17-11-06596, Quito, Equateur.

INTRODUCTION

L'inventaire des ressources hydriques et leur utilisation rationnelle sont des préoccupations d'un grand nombre de pays afin d'augmenter la production agricole par l'irrigation, de pourvoir en eau les agglomérations et industries toujours plus concentrées et de satisfaire la demande d'énergie.

Néanmoins, ces objectifs sont étroitement liés à une bonne connaissance des facteurs du climat parmi lesquels la pluviométrie tient un rôle prépondérant.

Les précipitations sont un phénomène très variable dans le temps et l'espace, surtout dans un pays au relief aussi contrasté que l'Équateur.

Sa connaissance, surtout quantitative, s'obtient par des mesures permanentes sur un réseau d'observations ponctuelles. Malheureusement, toute mesure est entachée d'erreurs diverses qui proviennent tant du système d'acquisition des données comme du caractère individuel de la mesure.

Cette constatation démontre la nécessité d'une sévère critique des données obtenues qui peuvent être éliminées quand elles s'écartent trop de la réalité, corrigées avec précaution lorsque la nature systématique des erreurs détectées le permet ou bien simplement signalées quand leur valeur anormale peut être considérée comme localement probable.

L'ensemble de ces opérations constitue l'homogénéisation des données.

Ici on ne traitera que des données pluviométriques et dans la conclusion on donnera des recommandations pour les autres facteurs climatiques.

1. DÉFINITION DU PROBLÈME

1.1. Homogénéité d'une série chronologique de précipitations annuelles

Une série chronologique de valeurs observées est de caractère aléatoire simple si toutes les valeurs sont indépendantes et si elles proviennent d'un tirage au sort parmi une même population statistique. Le caractère aléatoire peut être altéré par :

- *un effet de persistance* : une valeur n'est pas indépendante de la (ou des) précédente (s) (processus de MARKOV ou autre), mais la série est stationnaire et les paramètres de distribution de la population ne varient pas avec le temps ;
- *un effet de tendance* : les valeurs observées proviennent de différentes populations dont les probabilités mathématiques augmentent ou diminuent avec le temps ;
- *des effets cycliques ou pseudo-cycliques* : pour une valeur donnée, la probabilité mathématique dépend de la chronologie, mais la probabilité des moyennes des séries peut être considérée comme stationnaire ;
- *des erreurs systématiques (ou non) d'observation et de mesure* : seules ces erreurs modifient l'homogénéité d'une série chronologique de précipitations annuelles qui peut, en plus, présenter des effets de persistance, de tendance (au sud de la région côtière) ou de pseudo-cycles (phénomène du Niño) qui détermineront son organisation interne.

1.2. Les principales causes d'hétérogénéité

Modification de l'environnement du site de mesure

- Par déplacement de l'appareil

Ceci est un cas fréquent et souvent la station conservera son nom tout en suivant les déménagements de son observateur. Généralement, ces déplacements sont faibles (de l'ordre du kilomètre) mais dans un pays avec tant de relief, ils peuvent provoquer de grandes différences dans la série de mesures si on modifie l'exposition de l'appareil ou si le changement d'altitude est important.

- Par modification de l'environnement lui-même

Cette modification peut être brusque (construction proche) ou progressive (croissance d'arbres à proximité de l'appareil).

- Par changement de la hauteur de l'appareil

On peut trouver des différences de l'ordre de 50 % entre un appareil situé à 1,20 m du sol et un autre placé au sol. De telles différences sont dues aux turbulences qui se forment autour de l'appareil dans les lieux très exposés aux vents [1], [2], [3].

Erreurs dues à l'appareil

- Modification de la surface réceptrice par construction, échange ou déformation

Si les engins « standard » ont une surface réceptrice constante et connue, il n'en est pas de même des pluviomètres totalisateurs de fabrication artisanale.

- Erreurs d'étalonnage

Un vice de construction ou une erreur d'étalonnage peuvent se produire dans le cas des pluviographes.

Erreurs de mesure ou d'enregistrement

- Au niveau de l'éprouvette (ou de la réglette)

Les erreurs peuvent provenir de précisions différentes d'une éprouvette à l'autre ou de lectures incorrectes lorsque l'éprouvette n'est pas verticale ou bien de confusion de chiffres, etc. Le cas le plus typique est celui de confusion d'éprouvette. Dans les pays utilisant le système métrique, les pluviomètres les plus courants ont une superficie de 200, 314 ou 400 cm². Il est alors assez fréquent que les mesures soient faites avec une éprouvette inappropriée.

Cette erreur est décelée facilement quand on connaît les différentes surfaces mais elle peut aussi être confondue avec un changement d'emplacement, surtout dans les régions montagneuses où existent de forts gradients altitudinaux des précipitations.

Un autre cas difficile à détecter se présente lorsque l'observateur dispose, par sécurité, de deux éprouvettes (différentes évidemment) et utilise l'une et l'autre.

- Au niveau de l'enregistrement

- manque d'encre,
- erreurs de dates,

- notation erronée des hauteurs mesurées,
- erreurs de transcription, etc.

Erreurs de transmission

Perte du courrier ou mauvais fonctionnement des systèmes de transmission (électrique, électronique, par satellite, etc.).

Erreurs lors de l'archivage et de la publication

Lors de la collecte et de la transcription des données brutes, peuvent se produire des erreurs de copie ou de saisie et la publication des archives donne lieu à toutes les erreurs d'écriture, (oubli de dates, erreurs de stations, etc.).

1.3. Les conséquences

Comme il l'a été dit auparavant, toutes ces erreurs altèrent l'homogénéité des séries chronologiques des précipitations annuelles, mais de manière différente selon le problème.

Un changement de l'environnement se détecte si l'on dispose de longues séries homogènes avant et après ce changement. Plus le changement est marqué, moins d'années seront nécessaires pour le détecter. L'expérience montre que dans ce cas, on peut corriger les totaux annuels et mensuels pour homogénéiser la série mais qu'il est toujours impossible de modifier les données quotidiennes.

La confusion d'éprouvette est un cas très fréquent et se décèle avec un faible nombre d'années (à condition que l'observateur n'utilise pas en même temps toute une collection d'éprouvettes et de réglottes). Lorsque l'on connaît la date du changement, on reconstitue sans peine les données annuelles, mensuelles et quotidiennes.

Dans le cas de déplacements fréquents de l'appareil (ou d'autres causes produisant le même effet), les hétérogénéités ne peuvent être discernées et les corrections sont impossibles.

1.5. Nécessité d'effectuer des « tests » d'homogénéité

Les diverses causes d'hétérogénéité et les conséquences de celle-ci montrent la nécessité de contrôler rigoureusement les données pluviométriques, ce qui pourrait se faire, dans la plupart des cas, en consultant l'historique de la station.

L'expérience montre qu'un changement de site coïncide généralement avec un changement d'observateur et que la confusion d'éprouvettes (ou réglottes) se produit après une interruption des mesures. Cela signifie qu'un bon historique où soient signalés les changements de site, d'observateurs ou d'appareils et ceux de l'environnement, et une vérification des dimensions des pluviomètres et des éprouvettes (ou réglottes), permettraient de résoudre de nombreux problèmes.

Malheureusement, ces historiques sont en général inexistantes ou d'accès difficile. L'historique peut être partiellement reconstitué à partir des documents originaux envoyés par les observateurs, mais cela est insuffisant pour l'analyse d'une série chronologique complète.

D'où la nécessité d'effectuer des tests d'homogénéité sur la base des simples données annuelles et, ultérieurement, s'il y a un problème difficile, de faire une vérification sur le terrain.

1.4. Les différents tests d'homogénéité

Dans la bibliographie on trouve divers tests d'homogénéité (test des signes, de MANN-WHITNEY, de FISHER-YATES, etc.) qui pourraient servir à la vérification de l'homogénéité d'une série pluviométrique. Ils vérifient généralement le caractère aléatoire d'une série de variables indépendantes en admettant l'hypothèse de l'absence d'une organisation chronologique et donc de pseudo-cycles de l'échantillon observé, ce qui contredit la réalité (succession de périodes sèches et humides, phénomènes du Niño, etc.).

De par leur conception, ces tests peuvent être utilisés après avoir déterminé le moment de rupture séparant des séries homogènes car alors on compare une série provenant de l'échantillon au reste.

En faisant varier la série de valeurs, on pourrait trouver la date la plus probable de la rupture à condition que celle-ci soit unique, mais dans les cas complexes de plusieurs ruptures et de sens contraire, ces tests ne peuvent rien détecter, car ils n'ont pas été élaborés dans ce but.

Leur efficacité est inférieure ou égale au test de STUDENT de comparaison de moyennes provenant d'échantillons correspondant à des problèmes courants.

En résumé, il est facile de démontrer que ces tests ne peuvent détecter les erreurs systématiques et la présence réelle d'une organisation interne des séries pluviométriques correspondant à des effets pseudo-cycliques ou de persistance.

Malheureusement, la plupart des séries pluviométriques contiennent au moins l'un de ces deux effets, ce qui rend l'utilisation des tests classiques d'homogénéité peu intéressante.

2. LES TESTS DES SIMPLES ET DOUBLES MASSES

2.1. Hypothèse de base

On admet que les stations pluviométriques situées dans une même zone climatique ont des totaux pluviométriques annuels pseudo-proportionnels indépendamment des fluctuations climatiques de la zone, c'est-à-dire que pour l'année i , les précipitations annuelles x_i et y_i de deux stations X et Y de la même zone peuvent s'écrire [4] :

$$(1) \quad x_i = \frac{\bar{x}}{\bar{y}} y_i + e_i$$

où \bar{x} et \bar{y} correspondent aux moyennes inter annuelles des deux stations pendant une période suffisamment longue. La variance de e_i (terme aléatoire indépendant tant de x_i comme de y_i) est d'autant plus petite si le coefficient de corrélation linéaire entre les deux stations est plus fort et son espérance mathématique est égale à zéro.

2.2. Graphiques des simples masses

Suivant l'hypothèse précédente, il est raisonnable de penser que l'information climatique annuelle de la zone considérée puisse être représentée par un vecteur V dont les valeurs annuelles seraient la superposition de deux variables asynchrones :

- l'une représentant l'éventuelle fluctuation de la moyenne au long du temps (sur une longue période) ;
- l'autre rendant compte de la variation annuelle autour de la moyenne (sur une courte période, l'année).

STATION X P311MI CAHUASQUI PROVINCE D'IMBABURA PÉRIODE 1963-1985 COEFFICIENT DE CORRECTION 1 000

	ANNÉES	TA (mm)	P							
			+ 3 I	- 2 I	- 1 I	0,0 I	+ 1 I	+ 2 I	+ 3 I	
1	1984	874,7								
2	1983	755,6								
3	1982	1 051,9								
4	1981	730,4								
5	1980	774,5								
6	1979	677,5								
7	1978	509,4								
8	1977	510,0								
9	1976	760,0								
10	1975	878,5								
11	1974	1 260,1								
12	1973	667,2								
13	1972	923,9								
14	1971	850,8								
15	1970	879,1								
16	1969	876,9								
17	1968	777,2								
18	1967	658,1								
19	1966	727,9								
20	1965	933,7								
21	1964	658,8								

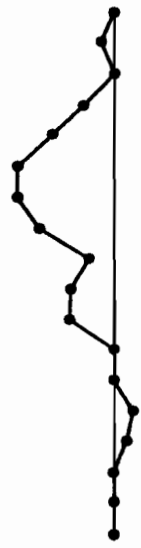


MOYENNE DES 21 ANS = 797,0
 ÉCART-TYPE = 171,9
 COEFFICIENT DE VARIATION = 0,216

TEST DES SIMPLES MASSES

STATION X P302MI MIRA PROVINCE DE CARCHI PÉRIODE 1964-1984 COEFFICIENT DE CORRECTION 1 000

ANNÉES		TA (mm)	P + -3 I	-2 I	-1 I	0,0 I	+1 I	+2 I	+3 I
1	1983	632,2							
2	1981	524,5							
3	1980	629,3							
4	1979	429,7							
5	1978	436,1							
6	1977	440,9							
7	1976	602,4							
8	1975	754,4							
9	1974	876,8							
10	1973	534,1							
11	1972	597,3							
12	1971	851,0							
13	1970	697,3							
14	1969	703,4							
15	1968	530,2							
16	1967	543,2							
17	1966	583,6							
18	1965	645,5							
N	AN	T A	P + -3 I	-2 I	-1 I	0,0 I	+1 I	+2 I	+3 I



MOYENNE DES 18 ANS = 611,7
 ÉCART-TYPE = 129,4
 COEFFICIENT DE VARIATION = 0,212

TEST DES SIMPLES MASSES

Pour plus de commodité, les composantes w_i de ce vecteur représenteront les valeurs de la différence entre les totaux annuels et la moyenne exprimés en termes d'écart-type

$$w_i = \left(v_i - \frac{v}{ETV} \right)$$

Dans ce cas, les totaux annuels d'une station X appartenant à cette zone climatique peuvent s'écrire de la façon suivante :

$$(2) \quad x_i = \bar{x} + \sigma_x \left(r_x \cdot w_i + a_i \sqrt{1 - r_x^2} \right)$$

où r_x représente le coefficient de corrélation linéaire entre la station et le vecteur et a_i les fluctuations propres de la station.

Si on cumule les données jusqu'à l'année n , on obtient :

$$(3) \quad \sum_1^n x_i = n\bar{x} + \sigma_x \left(r_x \sum w_i + \sum a_i \sqrt{1 - r_x^2} \right)$$

et en divisant par la moyenne :

$$(4) \quad X_n = \frac{1}{\bar{x}} \sum x_i = n + C_x \left(r_x \sum w_i + \sum a_i \sqrt{1 - r_x^2} \right)$$

où C_x représente le coefficient de variation de la variable x .

X_n est proportionnel à n , plus un terme aléatoire obéissant au processus de MARKOV.

Le graphique de la relation $X_n = f(n)$ est un graphique de simples masses relatives.

Dans la pratique, on utilise en coordonnées :

- le rang i de l'année dans la série (croissante ou décroissante et en omettant les années sans données) ;
- la somme $\sum x_i$ des précipitations annuelles.

Le tracé oscillera (effet de Slutsky) entre deux droites parallèles qui délimitent une bande sensiblement parallèle à la première bissectrice.

Si la moyenne est affectée par une déformation systématique due aux erreurs signalées en 1.2., le second terme de l'équation précédente aura une valeur significativement différente de zéro pour cette période et le tracé des points se situera dans une bande de pente différente à celle de la première bissectrice.

Ce changement de pente est facilement décelé.

Le graphique des simples masses a donc l'avantage de trouver toutes les périodes pendant lesquelles la moyenne a été perturbée de manière significative, ce que les tests classiques ne peuvent faire.

Malheureusement, dans la pratique, il ne permet pas de distinguer avec certitude d'éventuelles déviations systématiques d'un changement de tendance climatique bien marqué (comme par exemple dans les cas de Cahuasquí, Mira et FF-CC-Carchi dont on verra les doubles masses plus loin).

On ne l'utilisera que pour une première analyse pour détecter des erreurs importantes et le diagnostic final sera réservé aux tests des doubles masses.

2.3. Graphique des doubles masses

On considère deux stations d'une même zone climatique représentée par le vecteur V décrit ci-dessus.

Les précipitations annuelles de chaque station peuvent s'écrire de la façon suivante :

$$(5) \quad x_i = \bar{x} + \sigma_x \left(w_i \cdot r_x + a_i \sqrt{1-r_x^2} \right)$$

$$(6) \quad y_i = \bar{y} + \sigma_y \left(w_i \cdot r_y + b_i \sqrt{1-r_y^2} \right)$$

Si on suppose qu'elles sont liées à la tendance climatique par les coefficients r_x et r_y et qu'elles ont des fluctuations propres et indépendantes a_i et b_i , en cumulant les variables jusqu'à l'année n et en divisant par la moyenne, on obtient :

$$(7) \quad X_n = n + C_x \left(r_x \sum w_i + \sum a_i \sqrt{1-r_x^2} \right)$$

$$(8) \quad Y_n = n + C_y \left(r_y \sum w_i + \sum b_i \sqrt{1-r_y^2} \right)$$

où C représente les coefficients de variation respectifs.

En éliminant n entre les deux équations et en regroupant les différents termes, on obtient :

$$(9) \quad Y = X_n + \sum w_i (r_y \cdot C_y - r_x \cdot C_x) + \left(C_y \sum b_i \sqrt{1-r_y^2} - C_x \sum a_i \sqrt{1-r_x^2} \right)$$

L'équation traduit une relation linéaire altérée par deux termes dont le dernier est une variable aléatoire suivant un processus de MARKOV [6].

Dans la pratique, les points de coordonnées (X_n, Y_n) seront compris dans une bande définie par deux droites parallèles de pente positive et égale à 1. Si les variables sont indépendantes, la largeur de la bande dépendra uniquement des coefficients de corrélation de chaque station.

Dans le cas contraire, elle dépendra également des valeurs des coefficients de corrélation et sera d'autant plus étroite que les coefficients seront plus forts.

TOUTE VARIATION DE L'UNE DES MOYENNES PAR MODIFICATION DES CONDITIONS D'OBSERVATION SE TRADUIRA PAR UNE MODIFICATION CONCOMITANTE DE LA PENTE DE LA BANDE.

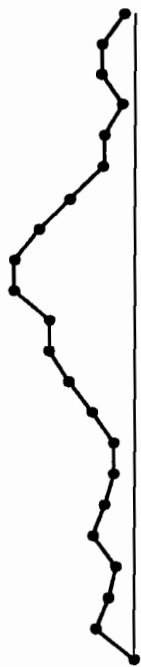
Le changement de pente correspondra à la variation de la moyenne altérée.

Si les deux stations appartiennent réellement à la même zone climatique, les coefficients de variation ainsi que les coefficients de corrélation auront des valeurs semblables, ce qui implique que le second terme sera proche de zéro. Cette constatation démontre l'avantage des doubles masses : dans une même zone climatique, la relation entre deux variables pluviométriques cumulées est indépendante d'éventuelles fluctuations climatiques et n'est affectée que par les fluctuations aléatoires si les données sont homogènes.

Cela signifie que les changements de pente correspondent seulement aux erreurs systématiques décrites en 1.2., ainsi que le montrent les graphiques de FF-CC Carchi/Mira et Mira/ Ca-huasquf.

STATION X P301MI FF-CC-CARCHI PROVINCE DE CARCHI PÉRIODE 1956-1985 COEFFICIENT DE CORRECTION 1 000

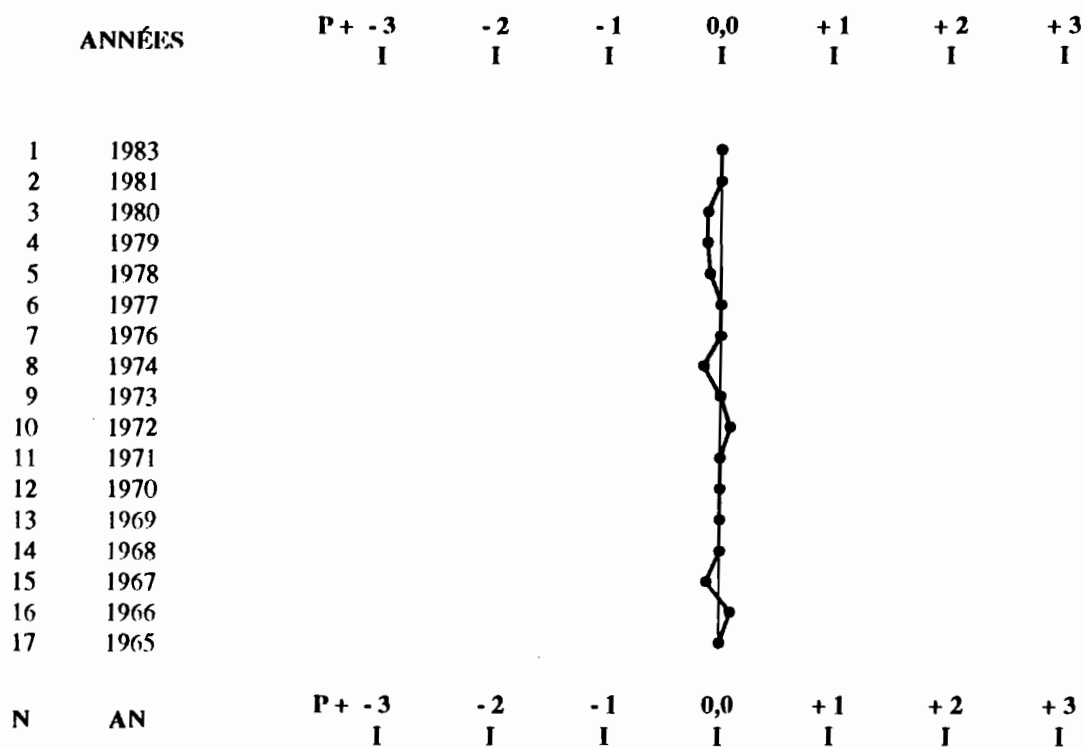
	AÑOS	TA (mm)	COEFFICIENT DE CORRECTION 1 000						
			P + -3 I	-2 I	-1 I	0,0 I	+1 I	+2 I	+3 I
1	1985	495,8							
2	1984	425,7							
3	1983	556,1							
4	1982	663,6							
5	1981	449,2							
6	1980	533,8							
7	1979	394,0							
8	1978	352,2							
9	1977	486,4							
10	1976	516,2							
11	1974	747,5							
12	1973	542,4							
13	1972	671,2							
14	1971	636,2							
15	1970	662,2							
16	1969	575,1							
17	1968	492,5							
18	1967	460,4							
19	1966	657,8							
20	1965	516,5							
21	1962	517,0							
22	1956	783,5							
N	AN	TA	P + -3 I	-2 I	-1 I	0,0 I	+1 I	+2 I	+3 I



MOYENNE DES 21 ANS = 551,6
 ÉCART-TYPE = 112,2
 COEFFICIENT DE VARIATION = 0,203

TEST DES SIMPLES MASSES

STATION X P301MI	FF-CC-CARCHI	PROVINCE DE CARCHI	PÉRIODE 1964-1984	COEFFICIENT DE CORRECTION 1 000
STATION X P302MI	MIRA	PROVINCE DE CARCHI	PÉRIODE 1964-1984	COEFFICIENT DE CORRECTION 1 000

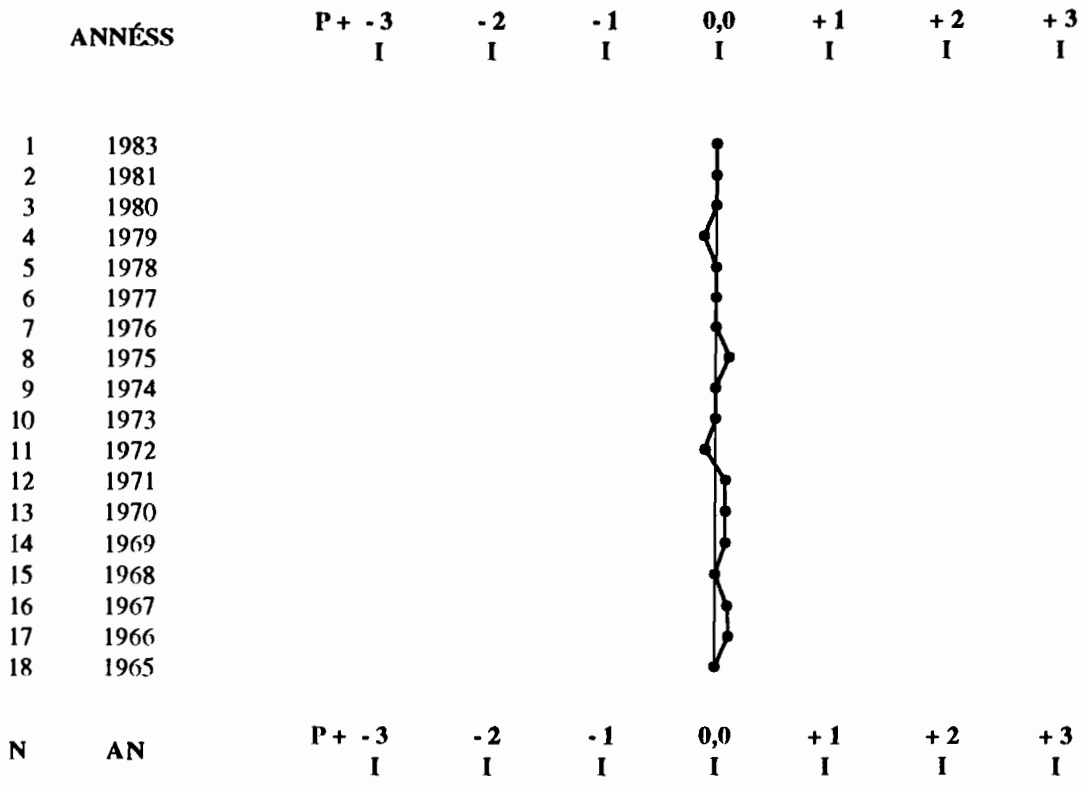


XM = 544,1 XM/YM = 902
 YM = 603,3 YM/XM = 1 109
 COEFFICIENT DE CORRÉLATION = 0,800

TEST DES DOUBLES MASSES

STATION X P302MI MIRA PROVINCE DE CARCHI PÉRIODE 1964-1984 COEFFICIENT DE CORRECTION 1 000

STATION X P311MI CAHUASQUI PROVINCE DE IMBABURA PÉRIODE 1964-1984 COEFFICIENT DE CORRECTION 1 000



XM = 611,7 XM/YM = 778
 YM = 786,2 YM/XM = 1 285
 COEFFICIENT DE CORRÉLATION = 0,833

TEST DES DOUBLES MASSES

2.4. Considérations sur les graphiques des simples et doubles masses

La première opération consiste à déterminer, de façon empirique et en se basant sur les distances entre elles, les effets du relief, le type de régime intra-annuel des pluies, des groupes de stations qui appartiennent à une même zone climatique.

Ensuite, à l'intérieur des groupes, on compare chacune des stations à toutes les autres, ce qui signifie que pour un groupe de m stations, le nombre des doubles masses atteint $m(m-1)/2$.

On remarque que le traitement de la pluviométrie d'une région ou d'un pays demande la manipulation d'une grande masse d'informations qui n'est possible que grâce à l'automatisation du traitement des données.

Le programme MASA utilisé actuellement par l'INERHI est un bon exemple de traceur automatique des graphiques des simples et doubles masses.

Son utilisation rend plus facile la comparaison entre les stations en supprimant la plupart des opérations manuelles et en rendant possible une facile interprétation visuelle.

La meilleure méthode pour utiliser les doubles masses est de rechercher, dans une zone climatique déterminée, quelques stations ayant de longs registres dont on est assuré de l'homogénéité (stations de base).

Ensuite, on les compare aux stations voisines que l'on corrige à chaque changement de pente. À chaque correction, celle-ci est vérifiée par comparaison avec les stations de base.

On peut ainsi créer d'autres stations de base et progresser lentement en vérifiant chaque fois les résultats en les comparant à ceux des stations les plus fiables.

On est assuré, opérant minutieusement de cette manière, de pouvoir détecter les changements de pente et d'en faire un diagnostic généralement vérifié soit sur le terrain soit dans l'historique de la station. Cette méthodologie est utilisée dans de nombreux pays et plusieurs générations d'hydrologues ont prouvé son efficacité.

Néanmoins, la réalité est plus complexe. Il n'est pas toujours possible de trouver dès le début des stations fiables et, dans ce cas, la diversité des anomalies d'une ou de l'autre station rend difficile de trouver des critères réellement objectifs.

Il est donc intéressant de construire, à partir des stations situées dans une même zone climatique et sans intervention manuelle, une variable de référence sans années incomplètes.

3. CONSTRUCTION D'UN VECTEUR DE RÉFÉRENCE

3.1. Principales caractéristiques

La comparaison des stations qui appartiennent à une même zone climatique et à un vecteur de référence représentatif de la tendance climatique de cette zone permet de réduire le nombre d'analyses. Dans une zone qui englobe m stations on ne calculera que m doubles masses (au lieu de $m(m-1)/2$ comme auparavant), ce qui diminue significativement le volume des calculs.

Si z représente ce vecteur de référence, on aura :

$$(10) \quad z_i = \bar{z} + \sigma_z w_i$$

En cumulant les variables jusqu'à l'année n et en divisant par la moyenne \bar{z} , on obtient :

$$(11) \quad z_n = \frac{1}{\bar{z}} \sum z_i = n + C_z \sum w_i$$

En comparant ce vecteur avec une station X et en éliminant n dans les deux équations comme il a été fait auparavant pour les équations (7) et (8), on obtient :

$$(12) \quad X_n = Z_n + \sum w_i (r_x \cdot C_x - C_z) + C_x \sqrt{1 - r_x^2} \sum a_i$$

Comme il l'a été dit précédemment, le deuxième terme du second membre de l'équation tend vers 0 et le troisième terme aura pour variance :

$$(13) \quad V_1 = C_x^2 - 2C_x \cdot C_z \cdot r_x + C_z^2$$

Lors de la comparaison station par station, la variance du troisième terme de l'équation (9) peut s'écrire :

$$(14) \quad V_2 = C_x^2 - 2C_x \cdot C_y \cdot r_x \cdot r_y + C_y^2$$

Avec des coefficients de variation similaires, on vérifiera que $V_1 < V_2$, ce qui signifie que la largeur de la bande sera plus réduite et que, par conséquent, les doubles masses entre station et vecteur seront plus précises que celles entre stations.

3.2. Conditions de la construction

Comme il l'a été signalé auparavant, l'utilisation des doubles masses requiert l'hypothèse de pseudo-proportionnalité dans un espace donné et le vecteur de référence devra s'y ajuster mais devra également prendre en compte quelques considérations supplémentaires :

- sa construction ne doit pas exiger d'hypothèses préliminaires sur la distribution des totaux pluviométriques annuels ;
- le total pluviométrique d'une station pour une année donnée ne peut servir, *a priori*, de valeur de référence ;
- on suppose que dans l'ensemble des données existe une valeur estimative de la tendance climatique régionale qui est plus représentative que l'information partielle de chacune des stations ; ceci n'exclut pas l'existence d'anomalies purement locales (phénomène du Niño, par exemple), mais ces anomalies ne doivent pas être utilisées pour la construction du vecteur ;
- la construction du vecteur sera conçue de façon à ce que toute l'information disponible soit utilisée sans que les données fausses aient un effet sensible sur le résultat, mais, dans la pratique on est amené à éliminer les données les plus fausses lorsque le résultat n'est pas satisfaisant ; par contre, on n'éliminera pas systématiquement les stations avec des registres très courts (3 à 5 années) car leurs données peuvent contribuer à la construction d'une composante annuelle du vecteur.

3.3. Analyse de la matrice des données

On peut considérer l'ensemble des données pluviométriques comme une matrice A dont les colonnes représentent les stations et les lignes les années.

$$A = [X_{ij}] = \begin{matrix} & \left| \begin{array}{c} i = 1, \dots, n \\ \dots \\ j = 1, \dots, m \end{array} \right| \end{matrix}$$

Les m données obtenues durant une année i représentent les coordonnées d'un vecteur (pluie) annuel dans l'espace des stations.

Si la pseudo-proportionnalité était stricte, l'ensemble des n vecteurs constitueraient un ensemble de vecteurs colinéaires. Alors la matrice A pourrait être remplacée par une matrice B produit d'un vecteur ligne L et d'un vecteur colonne C .

$$(16) \quad B = L \times C$$

Dans la pratique, les données réelles ne suivent pas ce modèle théorique et existent des fluctuations aléatoires dans chaque station (1) dont il faut tenir compte et on obtient alors :

$$(17) \quad A = B + E$$

B représentant l'information théorique recherchée.

3.4. Construction d'un vecteur par la moyenne arithmétique

Une des possibilités est de calculer pour chaque année un élément du vecteur en utilisant la moyenne arithmétique de tous les éléments de cette année.

En cas d'homogénéité préalable de toutes les données et de distribution normale, cette moyenne correspond effectivement à un paramètre à tendance centrale.

Malheureusement, les cas de distribution normale sont rares soit à cause du nombre réduit des données, soit à cause de distributions asymétriques ou plurimodales (dans le cas de séries chronologiques hétérogènes).

La présence de valeurs très fortes peuvent également altérer la moyenne comme on le verra dans quelques exemples ultérieurs (contamination de la moyenne par les valeurs extrêmes).

Les mêmes observations s'appliquent à l'écart-type qui, dans le cas de distributions non normales peut donner une idée de la dispersion des données mais non de leur groupement autour de valeurs centrales.

Il est possible d'obtenir de bons résultats par estimation des valeurs moyennes, mais les calculs sont problématiques quand les séries sont trop incomplètes.

Tout ceci amène à éliminer la distance « euclidienne » comme critère de minimisation de $E = A - B$ et a conduit deux chercheurs, G. HIEZ [6] et Y. BRUNET-MORET [4] à calculer les éléments d'un vecteur régional de façons différentes bien que les résultats soient relativement semblables.

3.5. Le vecteur HIEZ [6]

3.5.1. Algorithme de construction

Une bonne estimation de la valeur centrale est la valeur modale, mais il n'existe pas de moyen courant pour son calcul précis.

Dans le cas de nombreuses données, on pourrait les regrouper par classes et prendre comme valeur modale le point central de la classe de plus grande fréquence.

Si ceci n'est pas le cas, il sera difficile de trouver les valeurs modales pour la ligne (L) et du vecteur colonne (C) sans connaître leurs fonctions de densité qui ne sont pas déterminées *a priori*.

Par ailleurs, il existe d'autres formules que nous allons passer en revue rapidement :

- une formule empirique

$$(18) \quad \hat{M} = 3\bar{M} - 2M$$

où \hat{M} est la valeur modale, \bar{M} la médiane et M la moyenne arithmétique ; cette formule est valable pour les distributions unimodales et symétriques ;

- en considérant les moments de second et troisième ordre, on a :

$$(19) \quad \hat{M} + x_0 = M + \bar{M}$$

où x_0 est la valeur qui annule le moment de troisième ordre ; cette formule tient compte de la dissymétrie de la distribution, mais il faut connaître la médiane dont l'estimation n'est généralement pas précise ;

- le développement d'une fonction de distribution quelconque $f(\mu)$ en série limitée permet d'utiliser une autre formule :

$$(20) \quad \hat{M} = \bar{x} + \sigma \cdot \mu_0$$

où μ_0 est la valeur pour laquelle $f(\mu)$ est maximum ; cette formule ne convient non plus aux distributions plurimodales et est sensible aux valeurs extrêmes car elle fait intervenir un paramètre de dispersion.

Finalement l'auteur utilise une méthode originale de traitement lignes-colonnes qui lui permet, par itérations successives et en utilisant une des formules précédentes, de s'affranchir des restrictions mentionnées. La rapidité de convergence de l'algorithme dépend évidemment de la qualité des données.

L'absence de valeurs n'influe pas sur le traitement à condition d'avoir pour le moins trois valeurs par ligne et par colonne, mais l'estimation du vecteur sera meilleure si les données sont nombreuses.

3.5.2. Conclusions sur ce vecteur

La sensibilité et la fiabilité de l'algorithme ont été testées sur plusieurs essais et la totalité de la pluviométrie du Brésil a été vérifiée par cette méthode.

Une fois le vecteur construit, on le compare aux stations par doubles masses, mais la comparaison ne porte pas sur les valeurs moyennes mais sur les valeurs les plus probables.

L'application de cette méthode demande de respecter les quelques règles suivantes :

- utiliser l'année hydrologique (et non l'année calendaire) ;
- un nombre de stations strictement supérieur à 3, le minimum conseillé étant de 7 ;
- un zonage préalable des stations lequel pourra être rectifié après un premier traitement.

Il est évident que ce vecteur est un instrument puissant ; son application sur tout le Brésil le démontre, mais il demanderait à être analysé de façon plus précise dans un milieu montagneux comme celui de l'Équateur.

3.6. Le vecteur des indices annuels de précipitation [4]

3.6.1. Construction du vecteur

L'auteur considère qu'une zone climatique peut être représentée par un vecteur

$$\mathbf{Z} = (z_1, \dots, z_1, \dots, z_n)$$

de telle manière que son espérance mathématique soit égale à 1.

L'équation (17) peut s'écrire de la façon suivante :

$$(21) \quad x_{ip} / \bar{x}_p = z_i + e_{ip}$$

pour la précipitation de l'année i dans la station p , sachant que l'espérance mathématique de E_p est égale à 0 comme dit précédemment.

La matrice \mathbf{A} (n, m) se compose des précipitations de m stations durant n années et elle sera, dans la plupart des cas, incomplète.

L'algorithme de calcul consiste à minimiser l'équation :

$$(22) \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{ij} / \bar{x}_j - z_i)^2$$

afin de déterminer chaque \bar{x}_j et z_i .

S'il existe p stations observées dans l'année i , en dérivant par z_i on obtient n équations :

$$(23) \quad z_i = \frac{1}{p} \sum_1^p x_{ij} / \bar{x}_j$$

En remplaçant dans la formule (22) les valeurs de z_i (23) et en dérivant par $1/\bar{x}_j$, on obtient un système de m équations à m inconnues en $1/\bar{x}_j$.

La solution du système permet de trouver \bar{x}_j et par l'équation (23) les différents composants de z_i .

Cette méthode rapidement décrite permet de donner le même poids aux différentes valeurs observées.

On suppose que pour chaque année et dans chaque station les valeurs fausses constituent une minorité.

Une première itération avec les éléments originaux de \mathbf{A} donne une première série de valeurs. Si un élément $x_{ij} / \bar{x}_j \cdot z_i$ est en dehors d'un intervalle donné, il est remplacé par $\bar{x}_j \cdot z_i$.

Des itérations successives permettent d'éliminer rapidement ces problèmes. Les limites de l'intervalle dépendent de la variance de \mathbf{E} .

3.6.2. Utilisation de la méthode

Après avoir vérifié l'historique de la station, supprimé les valeurs aberrantes (erreurs de saisie, etc.) et complété les données qui s'y prêtent, on fait un premier traitement par simples masses pour confirmer la représentativité des groupes d'une même zone climatique.

Une fois cette préparation terminée, on effectue un premier passage par le programme qui sert à éliminer les valeurs indubitablement fausses.

En fonction des coefficients de corrélation, on peut également écarter quelques stations pour mieux cerner la zone et améliorer les corrélations.

Les étapes suivantes servent à détecter des erreurs moins frappantes (changement de localisation ou modification de l'environnement, etc.) et en deux ou trois passages on arrive à dégager le vecteur représentatif de la zone considérée.

4. COMPARAISON DES DEUX VECTEURS

Le vecteur régional de HIEZ a l'avantage de se baser sur une estimation précise de la valeur modale, ce qui le rend indépendant des erreurs systématiques si celles-ci ne représentent qu'une minorité. On peut donc en un seul passage déceler les anomalies et calculer les coefficients de pente correspondant à une confusion d'éprouvette, un changement de localisation, etc.

Il a été testé sur tout le territoire du Brésil, ce qui représente un grand nombre d'essais qui ont conduit au choix de normes d'utilisation.

Malheureusement, par son algorithme de calcul pour l'instant quelque peu difficile et long, il requiert d'ordinateurs puissants.

Récemment, il fut adapté pour des micro-ordinateurs et il serait intéressant de le voir fonctionner en région montagnaise.

Le vecteur de l'indice annuel de précipitation recherche la valeur la plus probable par un algorithme plus simple ; il n'est pas entièrement insensible à la présence d'erreurs systématiques ce qui implique 2 ou 3 passages avant d'arriver à une estimation correcte.

Pendant la construction, les stations avec des ruptures de pente sont considérées comme stations secondaires.

L'analyse de la relation entre deux pentes se fait au dernier passage, une fois le vecteur construit.

Il est utilisé en Afrique et aux Caraïbes. En Équateur, il a été essayé dans la région sud orientale et dans le bassin du Mira et ensuite sera testé dans la région côtière dans le cadre du Plan National d'Irrigation de l'INERHI.

Il est disponible pour des ordinateurs compatibles IBM mais les sorties sont tellement compliquées qu'il convient de les présenter sous une forme graphique afin de pouvoir utiliser un critère visuel appuyé par des critères numériques.

Pour les comparer avec un vecteur construit à partir de la moyenne arithmétique, on prendra l'exemple suivant :

Douze stations observées pendant 20 ans (1966-1985). Chaque année dans chaque station, les valeurs varient entre 999,5 et 1 001,5 mm, c'est-à-dire qu'elles sont toutes proches de 1 000.

Multiplions les données de trois stations par 5 pour une période de 10 ans (1965-1975).

Un vecteur construit avec la moyenne arithmétique aura les caractéristiques suivantes :

1966 - 1975 $x_1 = 2\ 000$

1976 - 1985 $x_1 = 1\ 000$

soit une relation de l'ordre de 2.

Avec le vecteur des indices annuels de précipitation, la relation sera de 1,25 ce qui indique la faible sensibilité aux confusions d'éprouvette ou aux déplacements du pluviomètre.

Dans cette même série de 12 stations, on introduit une année avec une précipitation de 13 000 mm. La moyenne arithmétique donnera 2 000 mm et le vecteur indice 1 015, ce qui démontre la faible sensibilité aux valeurs extrêmes souvent produites par des erreurs de saisie.

Dans les deux cas précédents (quelque peu extrêmes), la comparaison des stations avec le vecteur construit par la moyenne arithmétique n'aurait pas permis d'émettre un diagnostic car le vecteur lui-même est trop altéré.

Le vecteur HIF⁷ est encore plus insensible à ce genre d'erreurs comme le démontrent des exemples du B⁷.

Pour terminer, il faut se rappeler qu'au paragraphe 3.1. on a signalé que les doubles masses entre vecteur et station sont plus précises que les doubles masses entre stations. Cette caractéristique peut être vérifiée à l'aide de l'exemple suivant.

Pour 12 stations du nord de l'Équateur, on a calculé les coefficients de corrélation, chaque station par rapport à toutes les autres. Pour chacune station on a noté :

- le coefficient de corrélation maximum CCMAX
- le coefficient de corrélation minimum CCMIN
- le coefficient de corrélation moyen CCMOY
- le coefficient de corrélation avec le vecteur indice CCVEC, élaboré à partir des 12 stations sans avoir effectué aucune correction et sachant qu'elles appartiennent à des régimes pluviométriques différents.

Station	CCMAX	CCMIN	CCMOY	CCVEC
M054	0,64	0,17	0,41	0,66
M083	0,90	0,18	0,67	0,90
M084	0,91	0,41	0,68	0,86
M101	0,84	0,20	0,44	0,50
M102	0,86	0,20	0,60	0,86
M103	0,83	0,14	0,46	0,65
M303	0,91	0,39	0,66	0,88
M305	0,85	0,17	0,55	0,85
M306	0,90	0,37	0,72	0,93
M307	0,76	0,25	0,46	0,72
M324	0,80	0,30	0,57	0,83
M487	0,62	0,14	0,39	0,60

On observe que les corrélations avec le vecteur sont toujours supérieures aux corrélations moyennes entre stations et presque toujours égales ou supérieures aux corrélations maximum.

Cette caractéristique sera d'une grande aide pour le remplissage des données manquantes.

5. CONCLUSION

Comme on l'a vu au début, seule la méthode des doubles masses couplée à celle des simples masses permet de détecter et corriger les données pluviométriques erronées.

Malheureusement, cette méthode demande un travail long et minutieux ainsi que la manipulation d'une grande quantité de chiffres.

Pour ces raisons, le concept de vecteur régional est une grande avancé méthodologique. Sa construction ne peut se satisfaire que des moyennes arithmétiques qui sont trop sensibles aux valeurs extrêmes.

Les deux vecteurs présentés, calculés à l'aide d'algorithmes différents, donnent des valeurs probables et sont donc pratiquement insensibles aux altérations. Le soin avec lequel ils sont élaborés peut sembler excessif, mais ils servent non seulement à homogénéiser les données mais aussi à représenter, de la manière la plus fidèle possible, les caractéristiques d'une zone climatique. Ceci signifie qu'ils sont une grande aide pour la régionalisation climatique.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] RODDA, J.C., 1967. The rainfall measurement problem, in *AISH*, publ. n° 78, p. 215-281.
- [2] BRUNEL, J.P., 1986. Comparaison instrumentale des précipitations en climat méditerranéen semi- aride, in *Hydrologie Continentale*, Vol.1, n° 2, p. 87-93.
- [3] CHEVALLIER, P., 1986. Note sur les écarts de mesure observés entre les pluviomètres standards et les pluviomètres au sol, in *Hydrologie Continentale*, Vol. 1, n° 2, p. 111-119.
- [4] BRUNET-MORET, Y., 1979. Homogénéisation des précipitations, in *Cahiers Hydrologiques*, ORSTOM, Vol. XVI, n° 3 y 4, p. 147-170.
- [5] BRUNET-MORET, Y., 1971. Études de l'homogénéité de séries chronologiques annuelles par la méthode des doubles masses, in *Cahiers Hydrologiques*, ORSTOM, Vol. III, n° 4, p. 3-31.
- [6] HIEZ, G., 1977. L'homogénéité des séries pluviométriques, in *Cahiers ORSTOM*, Vol. XIV, n° 2, p. 129-163.
- [7] SEARCY, J.K., HADIRSON, C.H., 1983. *Curva de dobles masas*, HIMAT y COLCIENCIAS, Bogota, 36 p.

Com :
Vème Congrès d'Hydraulique de l'Equateur
Asociación Ecuatoriana de Hidráulica
AEHID/CICP, Quito, 23-26/11/1988.

HOMOGÉNÉISATION ET RÉGIONALISATION PLUVIOMÉTRIQUE PAR LA MÉTHODE DU VECTEUR RÉGIONAL

par **Patrick LE GOULVEN***, **Miguel A. ALEMÁN****, **Iván OSORNO****

RÉSUMÉ

Après avoir défini le concept d'homogénéité des séries de précipitations annuelles et démontré l'inefficacité des tests statistiques traditionnels pour résoudre ce problème, les auteurs prouvent l'efficacité des tests de doubles masses et surtout de la méthode du vecteur régional.

Ils utilisent en outre cette dernière méthode pour entreprendre une régionalisation pluviométrique en tenant compte de la variation interannuelle des précipitations (régionalisation chronologique) et de leur répartition tout au long de l'année (régionalisation du régime).

Les démonstrations et conclusions sont illustrées à partir de travaux déjà réalisés sur le bassin hydrographique du Mira.

* Ingénieur hydrologue de l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM)

** Ingénieurs hydrauliciens de l'Institut Équatorien des Ressources Hydrauliques (INERHI)

INTRODUCTION

L'inventaire des ressources hydriques ainsi que leur gestion rationnelle font partie des soucis actuels de l'Équateur.

Cependant, ces objectifs sont étroitement liés à une excellente connaissance des éléments du climat, parmi lesquels la pluviométrie joue un rôle important. Sa connaissance quantitative est obtenue au moyen de mesures permanentes d'un réseau d'observations ponctuelles.

Malheureusement, toute obtention de données souffre d'erreurs de diverses natures, ce qui démontre la nécessité d'une critique sévère des informations reçues du réseau, celles-ci pouvant être éliminées lorsqu'elles s'éloignent trop de la réalité, corrigées lorsque la nature des erreurs le permet, ou simplement signalées lorsque la valeur anormale peut être considérée comme localement possible.

De plus, le calcul des besoins en eau et des ressources disponibles requiert une information complète et cohérente, même s'il n'existe pas de stations proches.

Pour atteindre cet objectif, il est indispensable de diviser l'espace en zones homogènes, dans lesquelles le régime pluviométrique ainsi que la variation interannuelle de la précipitation soient semblables et bien connus, afin de mettre ensuite en place des modèles hydropluviométriques permettant de gérer la ressource eau selon des critères scientifiques.

L'Institut Équatorien des Ressources Hydrauliques (INERHI), en collaboration avec l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM), a entrepris cette tâche dans la Sierra et sur la Côte, afin d'élaborer ultérieurement son Plan Directeur d'Irrigation. Étant donné l'envergure du travail, l'École Polytechnique Nationale (EPN) et l'Institut National de Météorologie et Hydrologie (INAMHI) ont été associés au programme.

Les quatre institutions travaillent dans des régions différentes sur la base d'une méthodologie commune qui est présentée dans cet article.

A - HOMOGENÉISATION

1. DÉFINITION DU PROBLÈME

Une série chronologique de valeurs observées a un caractère aléatoire simple si toutes ses valeurs sont indépendantes et proviennent d'un tirage au sort dans une même population statistique. Le caractère aléatoire peut être modifié, selon Y. Brunet-Moret (1979) par :

- **un effet de persistance**
Les valeurs dépendent des valeurs antérieures mais la série est stationnaire et ses paramètres de distribution ne varient pas dans le temps.
- **un effet de tendance**
L'espérance mathématique des valeurs observées varie dans le temps.
- **des effets cycliques et pseudo-cycliques**
L'espérance mathématique d'une valeur observée est fonction de la chronologie, mais la valeur moyenne de séries suffisamment longues (moyennes mobiles) est stationnaire et ses paramètres ne varient pas dans le temps.
- **erreurs d'observation et de mesure**
Elles affectent un ou plusieurs termes consécutifs de la série et peuvent se superposer aux effets précédents.

Une série chronologique de précipitations annuelles peut contenir simultanément tous ces types d'effets. Les trois premiers caractérisent la pluviométrie du site et constituent ainsi l'organisation interne de la série.

Seules les erreurs d'observation et de mesure (ou erreurs systématiques) affectent l'homogénéité de la série.

Le véritable problème de l'homogénéisation consiste alors à détecter et à identifier ces erreurs.

Ceci constitue le premier objectif de cette première partie.

2. LES SOURCES D'HÉTÉROGÉNÉITÉ ET LES CONSÉQUENCES DE CELLE-CI

Les problèmes qui se présentent dans un réseau d'observation pluviométrique sont très variés. Rappelons seulement les plus fréquents :

- **Modification du milieu environnant ou du site de mesure**
 - Par déplacement de l'appareil
C'est un cas fréquent et la station garde généralement le même nom.
 - Par modification du milieu environnant
Elle peut être brusque (construction proche) ou progressive (croissance d'arbres à proximité).
 - Par changement de la hauteur de l'appareil
La quantité d'eau reçue par le pluviomètre se modifie sensiblement surtout lorsque le site est exposé au vent.

- **Erreurs dues à l'appareil**

- modification de la surface de réception par construction ou déformation ;
- défaut d'étalonnage (dans les pluviographes).

- **Erreurs de mesure**

Au niveau de l'éprouvette ou de la réglette les erreurs sont fréquentes. La confusion d'éprouvette est un cas typique. Autrefois, le sud de l'Équateur était équipé de pluviomètres de 100 cm² avec l'éprouvette en verre correspondante. Une fois que celle-ci était cassée, l'observateur pouvait en recevoir une neuve en plastique, mais étalonnée pour un pluviomètre de 200 cm². Les mesures postérieures au changement sous-estimaient de 50 % la hauteur réelle des pluies.

Le tableau suivant présente les valeurs des erreurs commises dans le cas d'une confusion entre éprouvettes et pluviomètres de surfaces les plus fréquentes.

		éprouvette			
p l u v i o m è t r e		100 cm ²	200 cm ²	314 cm ²	400 cm ²
	100 cm ²	1	0,5	0,318	0,25
	200 cm ²	2,0	1	0,637	0,50
	314 cm ²	3,14	1,57	1	0,79
	400 cm ²	4,0	2,0	1,27	1

Tableau n° 1

- **Erreurs de transmission**

Problèmes de courrier, radio, satellite...

- **Erreurs de classement et de publication**

Toutes formes d'erreurs d'écriture qui se produiraient lors de la frappe de l'information brute (ommission de données, erreurs de date, etc.).

Selon leur nature, les erreurs systématiques ont des conséquences différentes tant sur leur détection que sur la correction des valeurs erronées.

Une confusion d'éprouvette nécessite généralement peu d'années pour être détectée s'il n'y pas d'utilisation simultanée de plusieurs éprouvettes ou réglettes. Dans ce cas, il est possible de rétablir les totaux annuels, mensuels et même journaliers si on connaît la date de la confusion.

Une modification du milieu environnant est détectée si l'on dispose d'un bon nombre d'années homogènes avant et après le changement. Plus le changement est fort, moins d'années sont nécessaires. L'expérience montre que, dans ce cas, seuls les totaux annuels et mensuels peuvent être corrigés.

S'il y a des déplacements fréquents de l'appareil (ou d'autres causes produisant le même effet), les hétérogénéités ne sont pas discernables et il est impossible d'effectuer des corrections.

3. IMPORTANCE DES TESTS D'HOMOGENÉITÉ

Tout ce qui précède fait apparaître la nécessité d'un contrôle rigoureux des données pluviométriques, qui pourrait être effectué en étudiant l'historique des stations.

En général, un changement de site coïncide avec un changement d'observateur et une confusion d'éprouvette se produit après une interruption des mesures. Un bon historique comportant des notes sur les changements d'observateurs ou de site, d'équipements ou de milieu environnant, permettrait alors de résoudre un grand nombre de problèmes.

Malheureusement, si les inspecteurs connaissent ces détails de la vie d'une station, celles-ci ne figurent que rarement par écrit dans un document, et la disparition des « gens qui savent », fait également disparaître l'information.

Une partie de l'historique peut être reconstituée à partir des documents bruts envoyés par les observateurs, mais cela est généralement insuffisant.

Pour cette raison, a surgi l'intérêt général d'élaborer, à partir des seules données, des tests d'homogénéité.

Il existe dans la littérature de nombreux tests statistiques : test des signes, test de corrélation sérielle de Wald, Wolfowitz et Anderson, test des pointes et des phases, de corrélation de rang de Mann et Sperman, de Fisher-Yates, etc.

Ces tests ne peuvent que prouver le caractère aléatoire d'une série de variables indépendantes, ce qui implique l'hypothèse de l'inexistence d'une organisation interne de l'échantillon observé.

Par construction, ils comparent une partie des valeurs de l'échantillon au reste, et il leur faut donc connaître à l'avance le moment qui sépare les séries homogènes.

Pour résumer, ces tests ne peuvent distinguer les erreurs systématiques d'une organisation interne réelle de la série : ils n'ont pas été élaborés pour cela.

Malheureusement, la plupart des séries pluviométriques annuelles a une organisation interne, ce qui diminue encore l'intérêt d'appliquer à la pluviométrie les tests classiques d'homogénéité.

4. LES TESTS DES SIMPLES MASSES

Pour utiliser cette méthode, les coordonnées sont :

- le numéro l de l'année dans la série (croissante ou décroissante), en omettant les années manquantes ;
- la somme $\sum x_l/x_m$ où x_l qui représente les précipitations annuelles et x_m la pluviométrie moyenne de toutes les années utilisées.

Dans le cas d'une série chronologique à caractère aléatoire simple, le graphique des simples masses oscille autour de la première bissectrice.

Dans la pratique, le travail étant très long, on emploie des programmes qui utilisent une variable transformée de type $x_l/x_m - l$, ce qui permet de convertir la première bissectrice en un axe vertical, facilitant ainsi le tracé des graphiques par ordinateur.

Si la série a été affectée par un ou plusieurs des effets énumérés au paragraphe 1, le graphique présentera un changement de pente significatif. Ce changement est facilement détectable et permet en outre d'identifier les années affectées, ce que les tests traditionnels ne pouvaient pas faire.

Malheureusement, les tests des simples masses ne peuvent distinguer avec certitude les erreurs systématiques d'éventuels effets faisant partie de l'organisation interne de la série observée.

La figure 1, élaborée automatiquement par le programme MASA utilisé dans le projet, illustre bien cette assertion.

Le graphique des simples masses de la station Mira n'oscille pas autour de l'axe vertical et semble avoir trois périodes de pentes différentes.

La période 1965-1968 est quasiment parallèle à l'axe, ce qui signifie qu'elle est composée d'années normales (proches de la moyenne multi-annuelle).

La période 1969-1976 correspond à une série de totaux annuels forts et la dernière période (1977-1983) à une série de précipitations « faibles » (inférieures à la moyenne multi-annuelle).

Le cas de la station Los Cerros (Montecristi), située dans la province du Manabí, est encore plus spectaculaire.

Le graphique est composé de 3 périodes principales (1964-1971, 1972-1976, 1977-1982) et l'on remarque nettement la valeur anormalement forte de l'année 1983 qui altère complètement le graphique et qui représente évidemment le phénomène du Niño.

Tous ces changements de pente correspondent à des effets qui viennent modifier le caractère aléatoire des deux séries, mais le problème consiste à savoir quels sont ces effets.

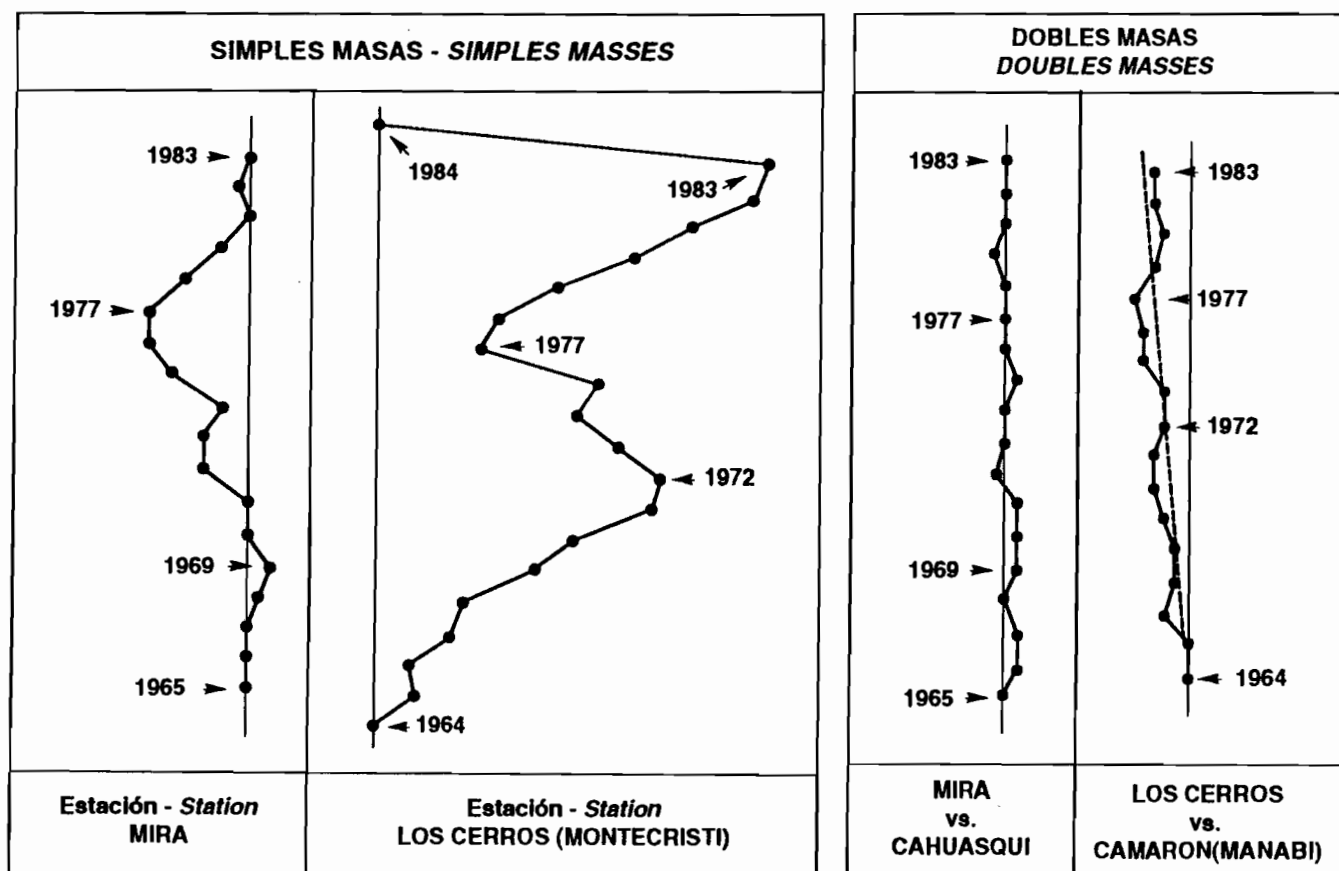


Figure 1

Figure 2

La seule utilisation des simples masses ne permet pas de répondre objectivement et n'autorise qu'une remarque : il existe dans les deux stations un changement similaire de pente entre les années 1976 et 1977. Ce changement doit alors correspondre à un phénomène normal d'organisation interne.

Pour conclure, il est indispensable de consulter les graphiques des doubles masses (figure 2), réalisés sur des stations voisines, où les différentes périodes ont disparu, ce qui prouve que tous les changements de pente antérieurs sont dus à des phénomènes normaux et caractéristiques des régions climatiques où se trouvent les deux stations.

Si les tests des simples masses sont intéressants en comparaison des tests statistiques, ils ne peuvent apporter des critères véritablement objectifs en ce qui concerne l'homogénéisation des données pluviométriques.

Il semble en outre impossible de détecter avec certitude les erreurs systématiques à partir d'une seule série chronologique. Heureusement, dans l'étude des précipitations, on dispose généralement de plusieurs stations situées dans une même région.

5. LES TESTS DES DOUBLES MASSES

5.1 Hypothèse de base

On admet l'existence de zones climatiques où l'on dispose de plusieurs stations dont les séries chronologiques sont liées par des coefficients de corrélation linéaire significativement positifs.

Appartenant à une même zone climatique, les stations sont soumises aux mêmes effets de persistance, de tendance, ou pseudo-cycliques. Leurs coefficients de variation sont donc similaires et leurs précipitations annuelles pseudo-proportionnelles.

C'est-à-dire que, pour une année i , les totaux annuels x_i et y_i de deux stations de la même zone ont entre eux la relation suivante :

$$(1) \quad x_i/x_m = y_i/y_m + e_i$$

où x_m et y_m correspondent aux moyennes multi-annuelles des deux stations, calculées sur une période suffisamment longue. La variance de e_i (terme indépendant tant de x_i que de y_i) est d'autant plus réduite que le coefficient de corrélation entre les deux stations est plus fort. Son espérance mathématique est égale à zéro.

5.2 Théorie des doubles masses (G. Hiez, 1977)

L'hypothèse précédente implique alors qu'une station X est liée à une seule tendance climatique régionale dont les valeurs annuelles t_i peuvent s'exprimer par une variable w_i réduite et normalisée comme suit :

$$(2) \quad w_i = (t_i - t_M)/\sigma_t$$

où t_M correspond à la moyenne de la tendance et σ_t a son écart-type.

En considérant qu'une station a des facteurs de site propres (moyenne x_M , écart-type σ_x), représentatifs du site de mesure et que ses observations ont des fluctuations aléatoires (u_i) dont la grandeur varie selon la relation existant entre la station et sa tendance, les précipitations x_i de la station X pourrait s'écrire selon la formule :

$$(3) \quad x_i = x_M + \sigma_x \cdot (r_x \cdot w_i + u_i \cdot \sqrt{1 - r_x^2})$$

où r_x représente le coefficient de corrélation entre la station et sa tendance.

En cumulant les données jusqu'à l'année n , on a :

$$(4) \quad \sum x_i = n \cdot x_M + \sigma_x \cdot \left(r_x \cdot \sum w_i + \sum u_i \cdot \sqrt{1-r_x^2} \right)$$

En divisant par la moyenne :

$$(5) \quad X_n = \sum x_i / x_M = n + C_x \left(r_x \cdot \sum w_i + \sum u_i \cdot \sqrt{1-r_x^2} \right)$$

où C_x correspond au coefficient de variation de la station X . Le graphique des simples masses illustre cette relation.

Considérons maintenant une autre station Y appartenant à la même zone climatique. En effectuant les calculs précédents, on obtiendra l'équation suivante :

$$(6) \quad Y_n = n + C_y \cdot \left(r_y \cdot \sum w_i + \sum v_i \cdot \sqrt{1-r_y^2} \right)$$

En éliminant n et en regroupant les termes :

$$(7) \quad Y_n = \begin{cases} X_n \\ + \sum w_i \cdot (r_y \cdot C_y - r_x \cdot C_x) \\ + (C_y \cdot \sum v_i \cdot \sqrt{1-r_y^2} - C_x \cdot \sum u_i \cdot \sqrt{1-r_x^2}) \end{cases}$$

L'équation précédente montre l'existence, entre les totaux cumulés X_n et Y_n , d'une relation linéaire altérée par 2 termes complémentaires, **A** et **B**.

Cela signifie que le graphique des doubles masses (ou des doubles cumulés) oscillera autour d'une droite de pente positive égale à 1.

Si les stations sont indépendantes, l'ampleur de l'oscillation du graphique dépendra uniquement de C_x et C_y . Dans le cas contraire, l'oscillation diminuera lorsque les coefficients de corrélation tendront vers 1.

Toute variation d'une des moyennes se traduira par une modification simultanée de la pente du graphique, comme dans le cas des simples masses.

Selon l'équation (7), si les 2 stations sont suffisamment proches pour obéir strictement à une même tendance climatique, C_x et C_y seront sensiblement égaux de même que r_x et r_y . Dans ce cas, le terme **A** de l'équation tendra vers zéro et la relation linéaire existant entre les deux sommes cumulées X_n et Y_n sera indépendante d'éventuelles fluctuations climatiques et uniquement altérée par des facteurs aléatoires lorsque les données sont homogènes.

DANS CE CAS, TOUTE MODIFICATION DE LA PENTE DU GRAPHIQUE CORRESPONDRÀ UNIQUEMENT À DES ERREURS SYSTÉMATIQUES.

C'est le grand avantage des doubles masses par rapport aux simples masses dont l'équation (5) comporte toujours les valeurs w_i relatives à la tendance climatique de la zone considérée et pouvant cumuler d'autres effets tel qu'on l'a vu dans la figure 1.

L'équation (7) permet l'utilisation de la méthodologie pour n'importe quelle station, mais dans la pratique, la détection d'erreurs peu importantes est possible à condition que l'oscillation soit moins ample, c'est-à-dire lorsqu'il existe une corrélation suffisante entre les stations.

raison, l'utilisation de la méthodologie est restreinte à des stations proches, bien que cette notion de proximité soit définie plus par la valeur du coefficient de corrélation que par la distance absolue.

5.3. Analyse des graphiques

Les figures 2 et 3 illustrent bien les propos précédents.

Dans la première, la station Mira est comparée à celle de Cahuasquí et la station Los Cerros (Montecristi) à celle de Camarón (Manabí.) Les changements de pente que présentaient les deux stations en simples masses ont disparu, ce qui démontre qu'ils n'étaient dus qu'à des effets particuliers (w_i) de la tendance climatique de chaque station.

Les courbes oscillent légèrement autour d'une droite. Dans le cas de la station Los Cerros, cette droite diffère de l'axe représenté par la première bissectrice, par l'effet du Niño de 1983, dont le caractère exceptionnel fait que l'hypothèse de pseudo-proportionnalité n'est pas totalement respectée.

La figure 3 montre des graphiques de doubles masses altérés par des erreurs systématiques.

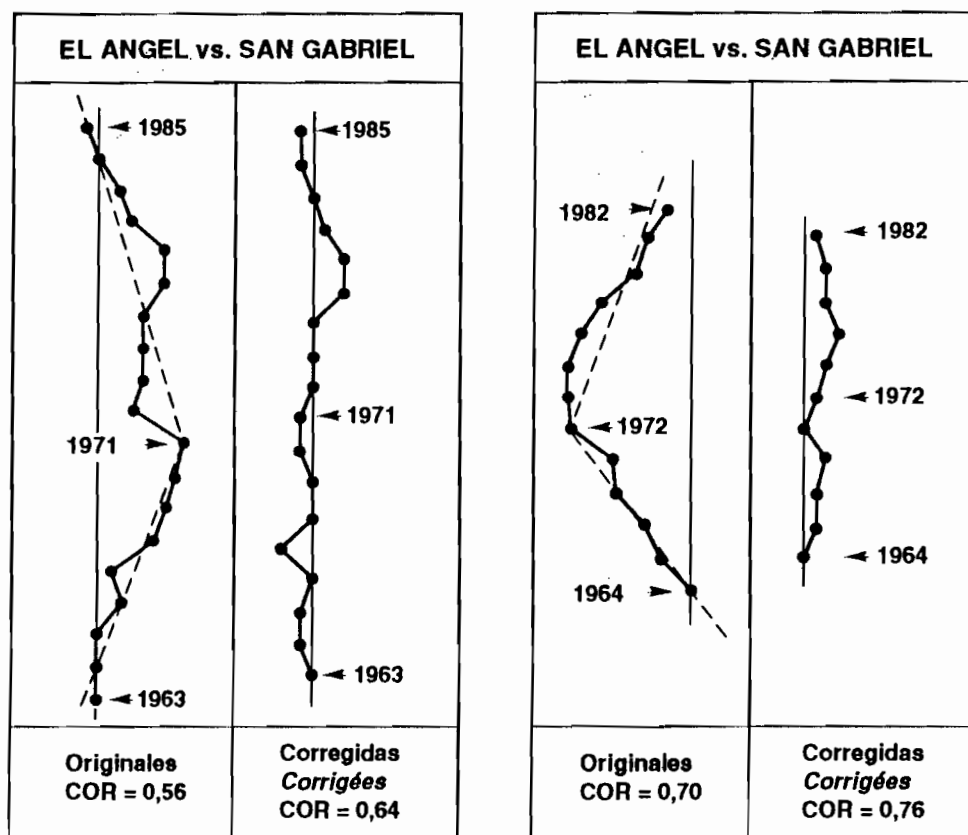


Figure 3

La courbe représentant la comparaison entre les stations El Angel et San Gabriel a 2 périodes différentes (1963-1970 et 1971-1985) dont les pentes ont une relation égale à 1,20. Cette valeur ne correspond à aucune valeur du tableau n° 1 ; on a donc diagnostiqué un changement de site.

En multipliant la première période par la valeur de 1,2 afin d'obtenir une série chronologique homogène et représentative du dernier site de l'appareil, on obtient une courbe beaucoup mieux adaptée.

Cependant, après avoir vu la station et étudié son historique à l'INAMHI (que nous remercions de nous avoir permis la consultation), on a pu confirmer le changement de site de la station climatique, mais à une date antérieure.

Cette erreur dans le diagnostic est due à la valeur particulièrement faible du coefficient de corrélation (0,56) et vient corroborer ce qui est dit dans le paragraphe précédent.

Les doubles masses entre les stations Zuleta et Pimampiro montrent un changement de pente à partir de l'année 1972. La relations entre les pentes des deux périodes est de 1,36, ce qui ne correspond non plus à aucune valeur du tableau n° 1. Un changement de site a également été diagnostiqué.

Une visite de terrain a permis de vérifier la date du changement, mais l'observateur nous a signifié un changement d'éprouvette.

Ces deux stations ont également des coefficients de corrélation peu significatifs (0,70 et 0,76 pour les valeurs corrigées), ce qui peut expliquer l'erreur de diagnostic.

Dans ces deux cas, il a été nécessaire de vérifier les stations par rapport à toutes les autres des environs afin d'émettre un diagnostic correct, ce qui constitue une limite importante de cette méthodologie.

5.4. Conclusions sur les graphiques des doubles masses

Pour utiliser cette méthode, on doit tout d'abord déterminer de manière empirique des groupes de stations appartenant à la même zone climatique, en tenant compte de la distance entre elles, des effets du relief, du type de régime intra-annuel, etc.

On compare ensuite chacune des stations à toutes les autres du groupe, ce qui signifie un nombre de doubles masses égal à $m(m - 1) / 2$ pour un groupe de m stations. Dans ces conditions, le traitement de la pluviométrie d'une région ou d'un pays exige la manipulation d'une quantité considérable d'information, possible seulement par l'automatisation des opérations de traitement.

Le programme MASA utilisé dans le projet, constitue un bon exemple de tracé automatique des graphiques. Son utilisation facilite considérablement les comparaisons entre stations en supprimant la plupart des opérations manuelles et en apportant une précieuse aide au travail d'interprétation.

La seule figure 2 ne permet pas non plus de détecter les sources des erreurs apparaissant dans les graphiques élaborés à partir de données brutes. Les changements de pente peuvent provenir de Mira ou de Cahuasquí, de Los Cerros (Montecristi) ou de Camarón (Manabí). Plusieurs tests seront nécessaires pour découvrir l'origine des problèmes.

La meilleure manière d'utiliser la méthode des doubles masses et de sélectionner, dans la zone climatique considérée, quelques stations ayant des données de bonne qualité et de longue période (stations de base). En les comparant aux stations voisines et en effectuant les corrections au fur et à mesure de l'apparition de changements de pente, il est possible de constituer d'autres stations de base et d'avancer ainsi, lentement, en vérifiant chaque fois les diagnostics émis à l'aide de toutes les stations de base.

En opérant minutieusement et de cette manière, on peut arriver à des diagnostics justes et confirmés. La méthodologie est utilisée dans plusieurs continents où son efficacité a été prouvée.

Cependant, la réalité est plus complexe. Il n'est pas toujours possible de trouver à l'avance des stations de base et dans ce cas, l'interférence entre des erreurs provenant de stations différentes rend très difficile le choix de critères de décision réellement objectifs.

En outre, il est fréquent de disposer de stations de base ayant des périodes incomplètes d'observation justement pour les années intéressantes à comparer.

On constate alors l'intérêt d'élaborer un vecteur de référence :

- homogène,
- couvrant toute la période considérée,
- automatiquement,
- à partir des données existantes.

Disposant d'un vecteur élaboré dans des conditions optimales, sa simple comparaison à une station permettrait de conclure, sans avoir à passer par toute une série de déductions qui mènent rapidement à confusion lorsque le nombre de stations à traiter augmente.

6. ÉLABORATION D'UN VECTEUR DE RÉFÉRENCE

6.1 Intérêt principal

Si Z désigne le vecteur de référence représentatif de la tendance climatique régionale décrite dans le paragraphe 5.2. et dans laquelle se trouvent les stations à vérifier, ce vecteur n'aura pas de fluctuations aléatoires et sa relation avec la tendance pourra être traduite par l'équation suivante (G. Hiez, 1977) :

$$(8) \quad z_i = z_M + \sigma_z \cdot w_i$$

où z_i représente les valeurs annuelles, z_M la moyenne et σ_z l'écart-type.

En cumulant les variables z_i jusqu'à l'année n et en divisant par la moyenne, l'équation précédente s'écrit :

$$(9) \quad Z_n = n + C_z \cdot \sum w_i$$

où C_z correspond au coefficient de variation de z_i .

En comparant ce vecteur à une station X appartenant à la même zone climatique et en éliminant n entre les équations (5) et (9), on obtient :

$$(10) \quad X_n = Z_n + \sum w_i \cdot (r_x \cdot C_x - C_z) + C_x \cdot \sum u_i \cdot \sqrt{1 - r_x^2}$$

ou pour simplifier :

$$(11) \quad X_n = Z_n + A + B$$

Comme on l'a signalé dans le paragraphe 5.2, dans une même zone climatique, le terme A tend vers zéro, alors que le terme B , dont dépend l'ampleur de l'oscillation des doubles masses, a comme variance :

$$(12) \quad \sigma_v^2 = C_x^2 + C_z^2 - 2 \cdot C_x \cdot C_z \cdot r_x$$

relation où C_x^2 et C_z^2 correspondent au carré des coefficients de variation C_x et C_z .

Dans la comparaison station par station en doubles masses, la variance du terme **B** de l'équation (7) est :

$$(13) \quad \sigma_{xy}^2 = C_x^2 + C_y^2 - 2 \cdot C_x \cdot C_y \cdot r_x \cdot r_y$$

Avec des coefficients de variation similaires, σ_{xy}^2 est supérieur à σ_v^2 , ce qui signifie que les doubles masses entre stations et vecteur auront une oscillation plus réduite que les doubles masses entre stations. En outre, comme le vecteur n'a pas de fluctuations aléatoires, son coefficient de variation sera plus faible que celui de la plupart des stations et cette particularité sera encore plus marquée.

Ceci signifie que les doubles masses entre stations et vecteur de référence seront plus précises que celles entre stations, ainsi qu'on pourra le constater dans des exemples postérieurs.

6.2 Conditions de l'élaboration

L'élaboration du vecteur devra s'ajuster à la condition de pseudo-proportionnalité des totaux annuels et devra également tenir compte de certaines considérations complémentaires :

- Cette élaboration ne doit pas exiger d'hypothèses préalables sur la distribution des totaux pluviométriques annuels.
- Pour une année donnée, le total annuel d'une seule station ne peut, *a priori*, servir de valeur de référence.
- Il est supposé que dans l'ensemble de l'information globale, il existe une valeur estimative de la tendance climatique régionale, plus représentative que l'information partielle de chacune des stations.
- Le processus d'élaboration doit être conçu de façon à ce que toute l'information disponible soit utilisée sans que les données erronées aient une influence sensible sur le résultat.

Cependant, dans la pratique, si les données sont réellement de mauvaise qualité, il sera nécessaire de corriger les plus grosses erreurs.

Mais, *a priori*, on n'éliminera pas des stations de périodes courtes (5 ans par exemple), dont les valeurs peuvent aider à la construction d'une composante annuelle du vecteur.

6.3 Analyse de la matrice des données

L'ensemble des totaux annuels constitue une matrice **A** dont les lignes sont les stations (θ) et les colonnes les années (i).

$$(14) \quad \mathbf{A} = [x_{\theta i}] = \begin{matrix} \theta = \alpha, \dots, \mu \\ i = 1, \dots, n \end{matrix}$$

Les μ données obtenues au cours d'une année i définissent les coordonnées d'un vecteur-pluie dans l'espace des stations.

Si la pseudo-proportionnalité était stricte, l'équation pourrait s'écrire :

$$(15) \quad x_{\alpha i} / x_{\alpha i-1} = \dots = x_{\mu i} / x_{\mu i-1}$$

L'ensemble des n vecteurs constituerait alors un ensemble de vecteurs colinéaires et la matrice **A** pourrait être représentée par une matrice **B** dégénérée.

En réalité, la matrice **A** s'éloigne de ce modèle théorique car il existe, dans chaque station, des fluctuations aléatoires qui doivent être prises en compte. On a ainsi :

$$(16) \quad \mathbf{A} = \mathbf{B} + \mathbf{E}$$

B représente l'information théorique souhaitée.

6.4 Analyse de quelques possibilités

Une possibilité consiste à calculer, pour chaque année, la valeur du vecteur en utilisant la moyenne arithmétique de l'ensemble des totaux observés au cours de l'année concernée.

En cas d'homogénéité préalable de toutes les données et de distribution normale, la moyenne arithmétique correspond effectivement à un paramètre significatif de tendance centrale.

Malheureusement, les variables s'éloignent souvent d'une distribution normale par :

- le nombre réduit de données, ce qui donne lieu à des distributions asymétriques ;
- l'existence de séries hétérogènes régies par des distributions pluri-modales ;
- la présence de valeurs anormales qui altèrent le calcul de la moyenne (« contamination de la moyenne par les valeurs extrêmes »).

Une estimation précieuse peut être obtenue à partir des médianes, mais les calculs deviennent problématiques lorsque les séries ont plusieurs années sans observation.

À partir des considérations précédentes, G. HIEZ [6] a entrepris l'élaboration d'un vecteur régional en tenant compte des valeurs modales. Ce vecteur est utilisé au Brésil où il donne de bons résultats. Malheureusement, l'algorithme est assez long en temps de calcul et son application réservée, pour le moment, à des ordinateurs puissants.

En explorant dans une direction différente, un autre chercheur (Y. BRUNET-MORET, [2], [3], [4]) a conçu un « vecteur des indices annuels » (ou vecteur YBM.), qui estime, pour chaque année, la moyenne la plus probable.

Le projet Plan National d'Irrigation utilise ce dernier vecteur dont la théorie et les résultats sont présentés ci-après.

Il faut signaler que les deux vecteurs ont été essayés dans plusieurs pays avec des résultats similaires, mais sans jamais être appliqués dans un pays à un relief aussi contrasté que l'Équateur.

7. PRÉSENTATION DU VECTEUR YBM

7.1 Hypothèse de base

Si **Z** est le vecteur de la zone climatique étudiée, selon les équations (1) et (14), pour l'année **i**, la précipitation annuelle $x_{\theta i}$ de la station θ (des μ existantes) est liée à l'indice z_i du vecteur par la relation :

$$(17) \quad x_{\theta i} / x_{M\theta} = z_i + e_{\theta i}$$

$x_{M\theta}$ = espérance mathématique de X_{θ} dans sa population-mère
 $e_{\theta i}$ = variable aléatoire indépendante de z_i

Les variables E_{θ} (de α à μ) sont indépendantes entre elles.

Comme il a été dit au début, pour une station θ , la série chronologique de $x_{\theta i}$ a un caractère aléatoire simple, altéré par les effets de tendance, persistance et pseudo-cycliques. Ces effets sont déjà représentés dans le vecteur ; la série chronologique des $e_{\theta i}$ a donc un caractère aléatoire simple.

Il faut rappeler que, dans la zone climatique considérée, on admet l'hypothèse que les totaux pluviométriques annuels sont pseudo-proportionnels.

Tout ce qui précède (hypothèse et relation) implique que :

- l'espérance mathématique de $E_{\theta} = 0$ dans son univers ;
- l'espérance mathématique de $z = 1$ dans son univers ;
- les variances de $E_{\alpha}, \dots, E_{\mu}$ sont égales entre elles et à $\text{Var } E$.

Pour chaque année i , les $e_{\alpha i}, \dots, e_{\mu i}$ ne sont pas indépendants entre eux (proximité géographique), mais il est admis que, dans leurs univers, la somme des covariances est égale à zéro :

$$\sum \text{covar}(E_{\theta}, E_{\delta}) = 0, \theta \neq \delta$$

Ceci implique que les coefficients de corrélation entre stations ne sont pas égaux mais ont une valeur moyenne de :

$$(18) \quad \text{CORXYM} = \text{Var } Z / (\text{Var } Z + \text{Var } E)$$

Avec ces hypothèses, le coefficient de corrélation entre le vecteur et une station quelconque aura dans les univers une valeur égale à :

$$(19) \quad \text{CORXVM} = \sqrt{\text{CORXYM}}$$

Cette valeur étant supérieure à CORXYM , il est compréhensible que les doubles masses entre vecteur et station soient généralement plus précises que les doubles masses entre stations.

Ceci implique aussi que la valeur du coefficient de variation de chaque station dans son univers soit égale à :

$$(20) \quad C_x = \sqrt{\text{Var } Z + \text{Var } E}$$

7.2 Algorithme de calcul

Le programme examine les totaux annuels des stations choisies à partir d'une année de début (ID) et jusqu'à une année finale (IF), et retient uniquement les stations possédant au moins **MINIAÑO** années sur la période considérée, ainsi que les années de la période où il existe au moins **MINIEST** totaux pluviométriques.

Les variables ID, IF, **MINIAÑO** et **MINIEST** sont des variables originelles définies par l'utilisateur.

Les valeurs sélectionnées constituent la matrice d'observation **A** (n, μ) des précipitations annuelles de μ stations sur n années.

Cette matrice est généralement incomplète (observations manquantes) et constitue la base de calcul du vecteur.

Dans un espace à μ dimensions, l'équation :

$$(21) \quad X_{\alpha} / x_{M\alpha} + X_{\beta} / x_{M\beta} + \dots + X_{\mu} / x_{M\mu} - \mu \cdot z_1 = 0$$

représente un hyperplan perpendiculaire à la droite :

$$(22) \quad X_{\alpha}/x_{M\alpha} = X_{\beta}/x_{M\beta} = \dots = X_{\mu}/x_{M\mu}$$

Le calcul consiste à déterminer les valeurs $x_{M\theta}$ pour chaque station et les valeurs de z_i pour chaque année, afin que les hyperplans représentatifs des observations de chaque année soient parallèles entre eux et perpendiculaires à la droite (22).

Selon les hypothèses précédentes appliquées à l'échantillon (moyenne de $z = 1$, moyenne de $E = 0$, $\text{Var } \theta = \text{Var } E$), on peut utiliser les moindres carrés pour minimiser l'expression :

$$(23) \quad \sum \sum (x_{\theta i}/x_{M\theta} - z_i)^2$$

et déterminer $x_{M\theta}, \dots, x_{M\mu}, z_1, \dots, z_n$.

En dérivant cette expression selon z_i , s'il existe μ_1 stations observées dans l'année i , on obtient n équations :

$$(24) \quad z_i = 1/\mu_1 \sum (x_{\theta i}/x_{M\theta})$$

En dérivant l'expression (23) selon $1/x_{M\theta}$, s'il existe n_1 années observées dans cette station θ , on obtient μ équations :

$$(25) \quad \sum x_{\theta i} (x_{\theta i}/x_{M\theta} - z_i) = 0$$

En réalité, compte tenu du manque de données, z_i doit être remplacé dans l'expression (23) par sa valeur trouvée dans l'équation (24) avant de dériver selon $1/x_{M\theta}$, afin d'obtenir un système de μ équations à μ inconnues ($1/x_{M\theta}$) :

$$(26) \quad f(\alpha, \theta)(1/x_{M\alpha}) + \dots + f(\mu, \theta)(1/x_{M\mu}) = 0$$

Ce système linéaire est homogène et a une solution simple :

$$1/x_{M\alpha} = \dots = 1/x_{M\mu} = 0$$

Pour sa solution, il doit être réduit à $(\mu - 1)$ équations linéaires à $(\mu - 1)$ inconnues et dont le second membre est différent de zéro.

En fixant $1/x_{M\mu} = 1$, on calcule alors, par les moindres carrés (régression multiple), les $(m-1)$ valeurs de $1/x_{M\theta}$ qui s'ajustent le mieux aux μ relations entre les quantités f de l'équation (26).

On connaît ainsi les valeurs $C/x_{M\alpha}, \dots, C/x_{M\mu}$, C étant un coefficient multiplicateur inconnu, mais égal pour toutes les variables.

Les valeurs de z_i sont calculés avec les équations (24). En exprimant l'hypothèse que la moyenne des z_i est égale à 1, on calcule le coefficient C et on peut ainsi déterminer exactement les valeurs $x_{M\alpha}, \dots, x_{M\mu}$.

Le calcul précédent montre que :

- pour chaque année i , $z_i - 1/\mu_1 \sum x_{\theta i}/x_{M\theta} = 0$ (27)

- pour chaque station θ , $\sum (x_{\theta i}/x_{M\theta} - z_i) \neq 0$ (28)

$$\bullet \sum \sum (x_{0i}/x_{M0} - z_i) = 0 \quad (29)$$

APPLICATION À DES CAS CONCRETS

L'algorithme précédent donne le même poids à chacune des valeurs observées et aussi aux valeurs altérées qu'on souhaite détecter et qui peuvent avoir une influence sur les valeurs de x_{M0} et z_i .

Il convient alors d'énoncer une dernière hypothèse en admettant que pour chaque année et dans chaque station, les valeurs erronées constituent une minorité.

Le calcul s'effectue selon le processus suivant :

- * Une première itération est effectuée avec les valeurs réelles de la matrice **A** et on calcule une première série de valeurs pour les x_{M0} et z_i .
Pour chaque année et pour chaque station, x_{0i}/x_{M0} est comparé à z_i . Si x_{0i}/x_{M0} n'est pas compris dans un intervalle donné, x_{0i} sera remplacé par $x_{M0} \cdot z_i$.
- * Les nouvelles valeurs de la matrice **A** sont utilisées pour une deuxième itération qui calcule de nouvelles valeurs de x_{M0} et z_i qui sont comparées à nouveau à l'intervalle et remplacées, si nécessaire, selon la procédure précédente.
- * Une série d'itérations est effectuée jusqu'à ce que toutes les valeurs de $x_{0i}/x_{M0}/z_i$ soient à l'intérieur de l'intervalle, ce qui se produit rapidement.

Il est logique que les valeurs délimitant l'intervalle dépendent de la variance de **E** dont on a une estimation (par excès si l'homogénéité spatiale n'est pas réalisée). Dans la réalité, il est difficile de tenir compte de cette observation lorsqu'il existe des séries hétérogènes.

Après plusieurs essais, tant dans le couloir interandin que sur la Côte, il a été décidé de prendre 0,7 et 1,5 comme des valeurs délimitant l'intervalle de comparaison.

Ces quantités sont similaires à $2/\pi$ et à $\pi/2$, valeurs dues aux erreurs les plus fréquentes entre des éprouvettes et des pluviomètres (tableau n° 1).

7.3 Tests de sensibilité

On considère un groupe de 12 stations fictives observées durant 20 ans (1966-1985 par exemple) et dont les totaux annuels varient entre 999 et 1 001 mm (très souvent égaux à 1 000 mm).

Les données de 3 stations sur une période de 10 ans (1966-1975) sont multipliées par 5.

Un vecteur élaboré à partir de la moyenne arithmétique serait altéré présentant 2 périodes dont les pentes différentes auraient une relation égale à 2.

Avec le vecteur, la relation est de 1,25, ce qui démontre le peu de sensibilité du vecteur à des confusions d'appareils ou à des changements de site.

Sur ces mêmes stations, la précipitation de 1985 sur une station est multipliée par 13.

Pour cette année, la valeur de la moyenne atteint 2 000 mm, alors que celle du vecteur est de 1 025 mm. Ceci montre que le vecteur est pratiquement insensible à des valeurs extrêmes comme des erreurs de saisie, etc.

Dans les deux cas précédents (un peu extrêmes), la comparaison des stations à la moyenne n'aurait pas permis de détecter les erreurs, elle-même étant altérée.

8. RÉSULTATS OBTENUS

Depuis plusieurs mois, l'équipe de travail effectue, avec la méthodologie décrite ci-dessus, le traitement de l'information de plus de 700 stations de la *Sierra* et de la Côte.

Le bassin du Mira est terminé et les diagnostics émis ont été confirmés par des vérifications de terrain et une révision des historiques à l'INAMHI.

Dans la partie sud du pays et sur les bassins du Guayas et du Pastaza, le travail de traitement est fini et il reste seulement à vérifier les diagnostics.

L'homogénéisation est bien avancée dans la province du Manabí et dans le bassin de l'Esmeraldas.

Il manque uniquement l'analyse des stations situées dans les bassins du Cañar et du Zapotal.

Le concept de pseudo-proportionnalité a été confirmé partout, bien que les zones climatiques rencontrées dans la *Sierra* soient plus réduites et leurs limites plus difficiles à tracer.

Il n'existe donc pas autant de micro-climats que l'on pouvait espérer et les stations obéissent à des effets climatiques similaires dont l'impact sur les précipitations varie selon la situation de la station par rapport au relief (effets d'abri, etc.).

Il vaut donc mieux parler de topo-climats.

Le vecteur détecte également les erreurs avec une bonne fiabilité comme on peut l'observer dans la figure 4 qui représente les stations El Angel et Zuleta déjà présentées pour le test des doubles masses (figure 3).

Les coefficients de corrélation ont significativement augmenté, ce qui permet d'émettre un diagnostic correct par visualisation d'un seul graphique.

Le changement de site de la station El Angel apparaît maintenant entre 1969 et 1970 (conformément à l'historique), et la relation des pentes pour Zuleta est de 1,57, confirmant ainsi le changement d'éprouvette réalisé par l'observateur en 1972.

Les vérifications ont permis de confirmer tous les diagnostics du bassin du Mira pour lequel on a obtenu les résultats suivants :

- 58 stations analysées
- 14 présentant des changements de site ou inadéquation des appareils
- 17 ayant des années anormales

Cela signifie près de 50 % de stations homogènes, ce qui correspond aux résultats obtenus dans des pays voisins.

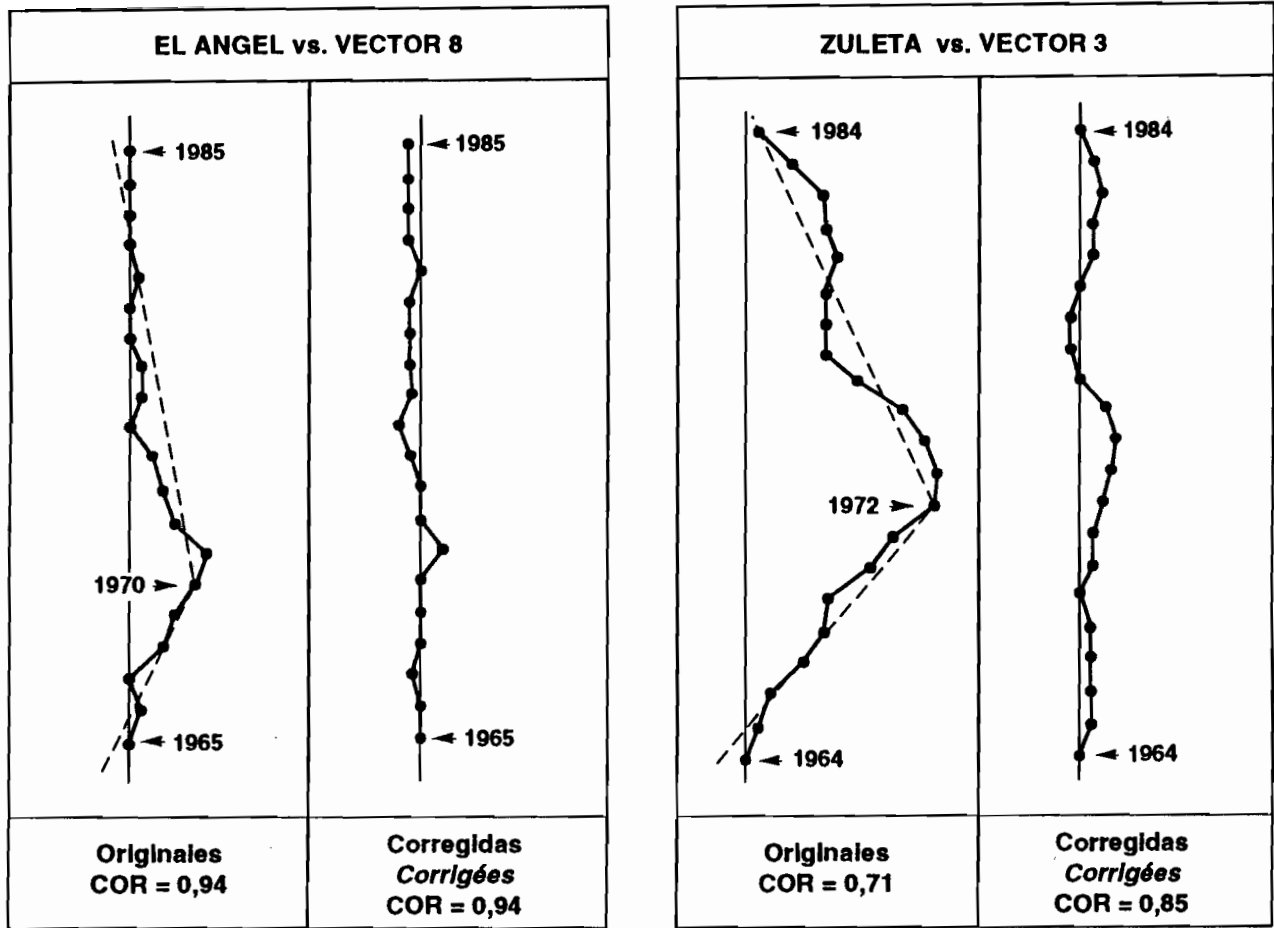


Figure 4

B - RÉGIONALISATION

1. DÉFINITION DU PROBLÈME

La régionalisation pluviométrique, sa conception et la précision de son calcul, dépendent énormément des objectifs recherchés.

Le Plan National d'Irrigation a besoin d'établir, dans n'importe quelle zone du pays, des bilans entre les besoins en eau et les ressources hydriques, qui devront être calculés mois par mois et année par année, afin de prendre en compte les risques (du point de vue statistique) que devraient assumer les périmètres irrigables quant à la disponibilité en eau.

- Dans le cas du calcul des besoins en eau, il faut donc disposer d'une série chronologique mensuelle et annuelle homogène, observée sur une période suffisamment longue et dont la précipitation annuelle moyenne soit égale à celle du périmètre considéré.

L'utilisation d'un vecteur de référence ne permettra pas d'obtenir des données exactes (absence de fluctuations aléatoires au site considéré), mais rendra possible l'estimation des paramètres statistiques corrects.

- Par ailleurs, le calcul de la pluie moyenne d'un bassin versant intègre les précipitations ponctuelles de chacune de ses parties éliminant ou réduisant l'influence des fluctuations aléatoires dues à chaque mesure. Dans ce cas, l'estimation des ressources hydriques par la relation pluie-débit s'approchera plus de la réalité si elle utilise également un vecteur de référence ne contenant pas ces effets.

Ceci montre que les bilans hydriques en un point donné peuvent être établis de manière plus aisée à partir d'un vecteur de référence, représentatif de la région du site considéré (ou de son bassin versant), tant du point de vue tant chronologique (régionalisation chronologique) qu'en ce qui concerne sa répartition intra-annuelle (régionalisation de régime), à condition que la précipitation annuelle moyenne du point considéré ou de son bassin soit connue.

Voyons comment le vecteur YBM peut résoudre ces problèmes.

2. TRACÉ DES ISOHYÈTES

Pour être correctes, les isohyètes doivent être tracées à partir de stations dont les totaux annuels ont été calculés sur une période commune suffisamment longue pour être représentative.

En théorie, le vecteur YBM est élaboré selon l'espérance mathématique des précipitations annuelles de chaque station.

Dans la pratique, le programme de calcul estime chaque espérance mathématique sur la base de l'organisation interne de la tendance climatique régionale.

Il n'est donc nécessaire ni de remplir les années manquantes de chaque station sur une période commune ni de calculer la représentativité de cette période. De plus, les relations entre pluie et altitude sont habituellement plus précises à l'intérieur de chaque zone climatique rencontrée.

3. RÉGIONALISATION CHRONOLOGIQUE

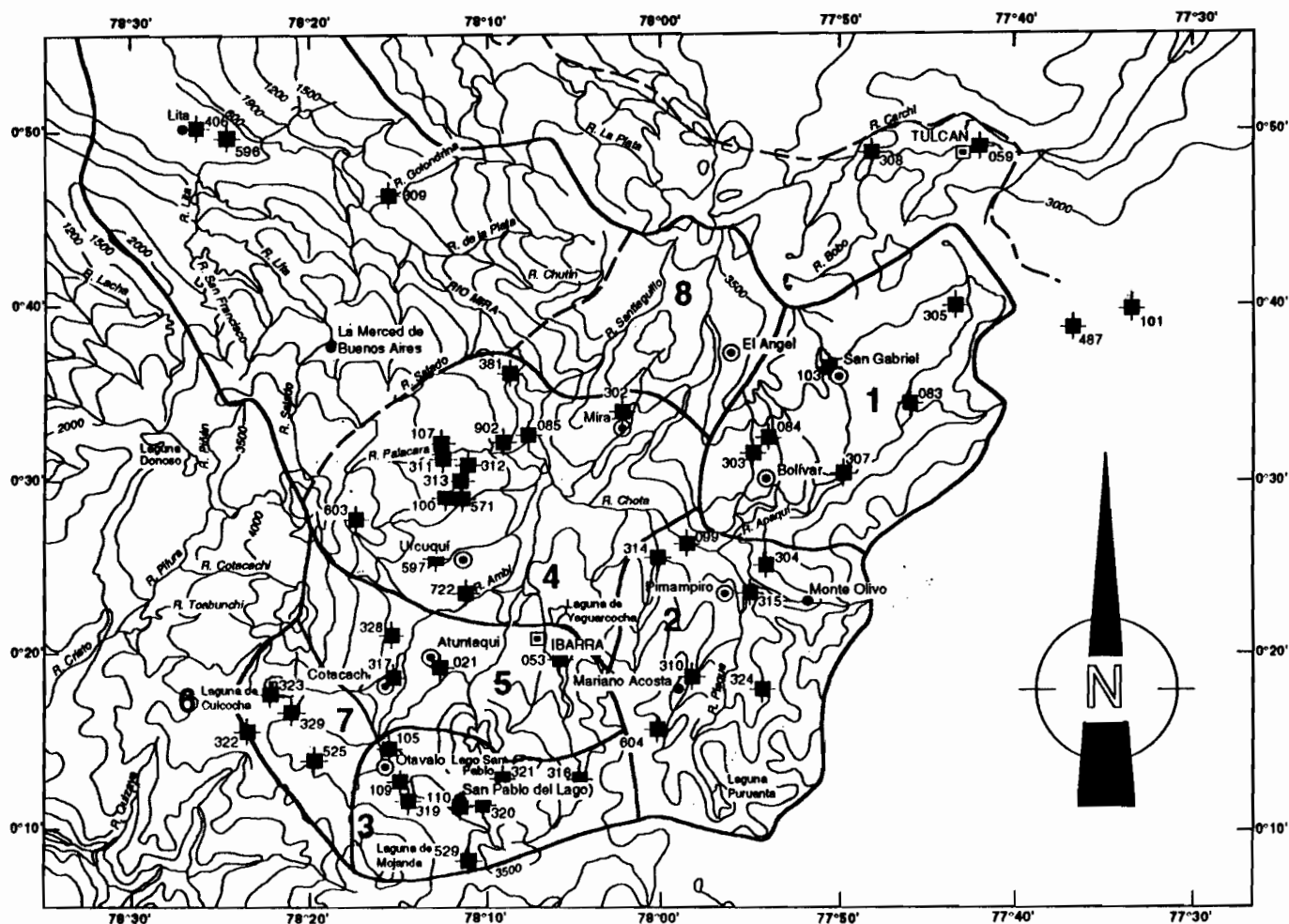


Figure 5

La méthodologie du vecteur ainsi que celle des doubles masses dépend de l'existence de zones climatiques homogènes.

Le premier pas consiste à regrouper le maximum de stations pour construire un premier vecteur, éliminant ensuite celles qui ont un coefficient de corrélation très faible avec le vecteur. La difficulté réside à savoir si cette valeur faible provient de la non appartenance à la même zone ou si elle est due à la présence de séries hétérogènes. L'examen des doubles masses entre stations et vecteur permet de lever la difficulté, et la délimitation de chaque zone se précise au fur et à mesure de la correction des séries altérées.

La précision du zonage ne dépend que du critère de similitude choisi. Dans ce travail, les zones ont été délimitées de manière à ce que le coefficient de corrélation moyen entre les stations et le vecteur correspondant se situe autour de 0,9. Les résultats obtenus sont ceux que l'on attendait comme le montre le tableau suivant relatif au bassin du Mira (figure 5).

groupe n°	1	2	3	4	5	6	7	8
coefficient de correction moyen	0,91	0,89	0,91	0,95	0,91	0,98	0,96	0,96

Tableau n° 2

Les limites des zones 4 à 8 ne sont pas totalement définies uniquement par manque de stations proches.

Des résultats similaires ont été obtenus dans les autres régions, et il est possible également de détecter les parties où le réseau pluviométrique est insuffisant.

4. RÉGIONALISATION PAR RÉGIME

Pour regrouper des stations selon leur régime, il est possible de raisonner comme d'habitude, en moyennes mensuelles.

Malheureusement, le régime d'une station varie selon l'année et il existe dans la *Sierra* des stations de régime moyen interandin alors qu'elles ont quelques années de régime pseudo-amazonien, comme le cas de l'année 1975 sur la station Ibarra-Aeropuerto (figure 6). Alors, si la comparaison en régime moyen est valable, elle n'est pas suffisante et il est nécessaire, afin de ne pas perdre d'informations, de considérer les données mensuelles comme une seule série chronologique.

De ce point de vue, les hypothèses et les équations régissant l'élaboration du vecteur n'empêchent pas de considérer une série mensuelle.

Le concept de pseudo-proportionnalité sera plus difficile à trouver, les fluctuations aléatoires seront plus fortes et les ajustements à des valeurs annuelles peut-être complexes ; cependant, l'équipe de travail effectue actuellement des essais dans ce sens, et on espère que des résultats futurs confirmeront ce raisonnement.

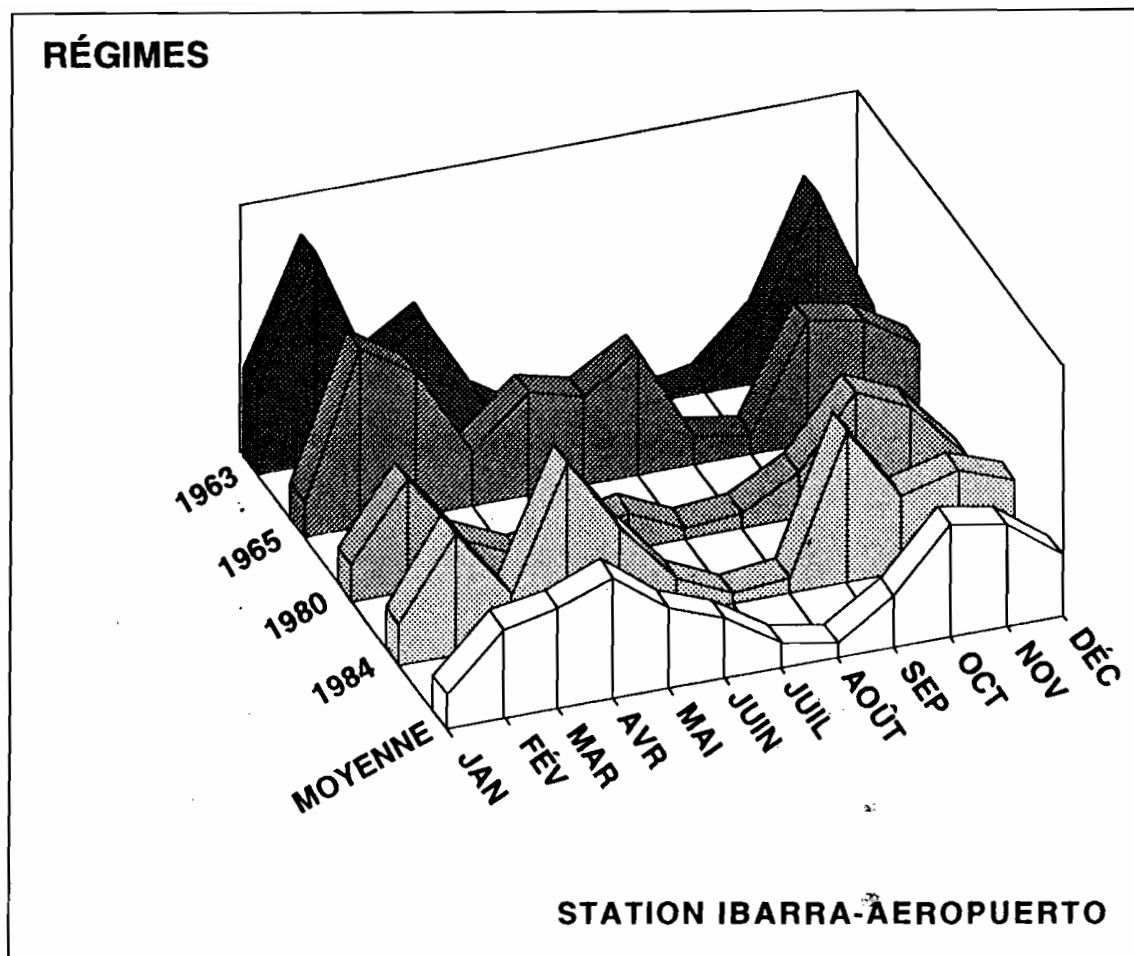


Figure 6

CONCLUSION

La méthode du vecteur régional a démontré sa bonne sensibilité pour détecter les erreurs systématiques qui altèrent les séries chronologiques de précipitations annuelles.

Son utilisation sur ordinateur est relativement simple et rapide par rapport à celle des doubles masses.

Le vecteur YBM trace également des isohyètes et permet de délimiter des zones climatiques homogènes dont il représente les caractéristiques avec précision.

Une synthèse pluviométrique à l'échelle nationale pourra se faire seulement à partir des vecteurs de chaque zone, réduisant ainsi le volume d'analyses et supprimant les effets aléatoires dus à toute mesure ponctuelle.

Les premiers résultats ratifient les hypothèses formulées et confirment, pour la première fois, la validité de la méthodologie en milieu montagneux.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BRUNEL, J.-P., 1986. Comparaison instrumentale des précipitations en climat méditerranéen semi-aride, in *Hydrologie Continentale*, vol. 1, n° 2, p. 87-93.
- [2] BRUNET-MORET, Y., 1971. Étude de l'homogénéité de séries chronologiques annuelles par la méthode des doubles masses, in *Cahiers ORSTOM*, série hydrologie, vol. III, n° 4, p. 3-31.
- [3] BRUNET-MORET, Y., 1977. Test d'homogénéité, in *Cahiers ORSTOM*, série Hydrologie, vol. XIV, n° 2, p. 119-128.
- [4] BRUNET-MORET, Y., 1979: Homogénéisation des précipitations, in *Cahiers ORSTOM*, série Hydrologie, vol. XVI, n° 3-4, p. 147-170.
- [5] CHEVALLIER, P., 1986. Note sur les écarts de mesure observés entre pluviomètres standards et au sol, in *Hydrologie Continentale*, vol. 1, n° 22, p. 111-119.
- [6] HIEZ, G., 1977. L'homogénéité des données pluviométriques, in *Cahiers ORSTOM*, série Hydrologie, vol. XIV, n° 2, p. 129-172.
- [7] L'HÔTE, Y., 1985. *Contrôle de la qualité et de l'homogénéité des données pluviométriques par la méthode du vecteur des indices annuels de précipitation*, Zürich, ETH/IAHS/WMO, Workshop on the correction of precipitation measurements.
- [8] RODDA, J.-C., 1967. The rainfall measurement problem, in *AISH*, publ. n° 78, p. 215-281.
- [9] SEARCY, J.K., HARDISON, C.H., 1983. *Curva de dobles masas*, HIMAT et COLCIENCIAS, Bogota.

Com :
Séminaire " Agua y Campesino "
Centre International de Coopération pour le
Développement Agricole
CICDA, Cuenca (Equateur), 17/06/89.

IRRIGATION TRADITIONNELLE DANS LES ANDES ANALYSE ET DIAGNOSTIC

par P. LE GOULVEN *, T. RUF **, H. RIBADENEIRA ***

Cuenca, juin 1989

FICHE-RÉSUMÉ 1	L'eau et son importance
FICHE-RÉSUMÉ 2	Histoire de l'irrigation andine
FICHE-RÉSUMÉ 3	Intervention de l'État
FICHE-RÉSUMÉ 4	Projet ORSTOM-INERHI (Plan National d'Irrigation)
FICHE-RÉSUMÉ 5	La ZARI comme unité d'étude
FICHE-RÉSUMÉ 6	Inventaire de l'irrigation
FICHE-RÉSUMÉ 7	Études pluridisciplinaires sur l'irrigation
FICHE-RÉSUMÉ 8	Base de données sur l'irrigation
FICHE-RÉSUMÉ 9	Problèmes de l'irrigation
FICHE-RÉSUMÉ 10	Conclusions

* hydrologue ORSTOM, Mission ORSTOM, CP 17-11-06596, Quito, Equateur.

** agro-économiste ORSTOM, Mission ORSTOM, CP 17-11-06596, Quito, Equateur.

*** Ingénieur civil EPN, INERHI, 532 Juan Larréa y Rio Frío, Quito, Equateur.

FICHE N° 1

L'EAU ET SON IMPORTANCE

L'EAU ET LE PAYSAN

L'eau est un élément essentiel pour la vie de l'homme et pour le développement de ses activités. À travers son utilisation, on peut satisfaire un besoin, obtenir un profit ou produire des biens. Rien qui représente de la vie sur la planète ne peut être conçu sans cette ressource précieuse. C'est ainsi que les origines de notre civilisation se situent dans quatre grands bassins hydrographiques, ceux des fleuves Jaune, Nil, Indus et Euphrate.

CARACTÉRISTIQUES DE L'EAU

L'eau qui coule possède quelques caractéristiques d'intérêt pour son utilisation :

- la « quantité », c'est-à-dire le volume disponible en une unité de temps, connu comme débit ;
- la « situation » dans l'espace et le temps ;
- la « cote », comprise comme une situation en hauteur ;
- la « qualité ».

Mais avant tout, l'eau est une ressource peu abondante, malgré sa large disponibilité totale, car elle n'est pas toujours présente à l'endroit, au moment ou durant la période requis.

UTILISATIONS DE L'EAU

En fonction de leur importance, les utilisations de l'eau peuvent être classées en :

- civile ou potable
- pour l'irrigation
- industrielle
- énergétique
- pour la navigation
- pour la pêche
- pour la récréation

Les utilisations modifient une ou plusieurs caractéristiques de l'eau. L'usage hydroélectrique, par exemple, est lié à la perte de hauteur et l'usage industriel implique une perte quantitative et parfois qualitative due à des processus de refroidissement.

L'irrigation est l'usage de consommation qui demande la plus grande quantité d'eau puisqu'il devient partie intégrante des cultures et retourne à l'atmosphère sous forme évaporée.

DISPONIBILITÉS DE L'EAU

Du volume total d'eau existant sur la planète sous toutes les formes, estimé à 1 360 millions de km³ et couvrant 70 % de la surface de la terre, seulement 0,01 % (139 220 km³) correspond à de l'eau superficielle et atmosphérique, fondamentale pour le maintien de la vie sur la planète.

De ce volume d'eau fraîche (139 220 km³), 89,8 % se trouvent dans les lacs (125 050 km³), 0,9 % dans les fleuves (1 250 km³) et 9,3 % dans l'atmosphère (12 920 km³). Cependant, ces volumes ne sont pas facilement utilisables dans leur totalité. Il est calculé que seuls 14 000 km³ peuvent être exploités, dont 3 000 km³ sont actuellement sous le contrôle de l'homme. Le reste se trouve dans des régions inhospitalières ou son exploitation demande des investissements très importants.

De ce fait, bien qu'il existe un cycle hydrologique, les ressources en eau douce ne sont pas inépuisables et il devient indispensable de les préserver et les contrôler et, si possible, de les accroître.

À l'échelle mondiale, l'Amérique du Sud est le continent ayant la plus grande quantité de précipitations. Ses ressources en eau sont vraiment abondantes : la pluie moyenne est de 1 560 mm contre une moyenne mondiale de 970 mm. Toutefois, la distribution de cette ressource est inégale, existant des zones extrêmement arides comme les côtes du Chili et du Pérou qui ont une précipitation presque nulle, et des zones recevant des précipitations supérieures à 3 000 mm annuels comme l'Amazonie. Cette inégalité est due au fait que presque 85 % de l'eau des fleuves du continent drainent vers l'Océan Atlantique.

IMPORTANCE DE L'IRRIGATION

Des recherches dans le domaine de la nutrition ont démontré l'existence, dans les pays sous-développés, d'un déficit calorique-protéique assez sévère, qui affecte principalement les enfants, par les effets irréversibles d'une alimentation déficiente sur leur développement physique et mentale ; il n'est pas moins vrai que la situation deviendra encore plus grave pour une population que aura doublé au début du XXI^e siècle. Tout cela permet d'aboutir au besoin impératif d'accroître les volumes de production afin de satisfaire la demande alimentaire.

Seule l'agriculture irriguée garantira l'obtention des quantités nécessaires de produits agricoles ; d'où l'importance des aménagements hydro-agricoles, compte tenu des effets directs de l'utilisation adéquate du sol et de l'eau sur le développement de l'économie nationale.

Parmi les avantages de l'agriculture irriguée, on peut signaler les suivants :

- des volumes de production élevés et constants ;
- l'intensification de l'utilisation de la terre ;
- l'amélioration des technologies se traduisant par une plus grande efficacité économique des autres facteurs de la production ;
- l'augmentation de la productivité du travail ;
- l'accroissement des profits pour les agriculteurs ;
- le développement d'industries de traitement des produits agricoles ;
- l'obtention de devises grâce à l'exportation.

FICHE N° 2

HISTOIRE DE L'IRRIGATION ANDINE

L'IRRIGATION HISPANIQUE EN ÉQUATEUR

Existait-il des systèmes d'irrigation avant l'arrivée des colonisateurs ? À présent, il n'a pas été prouvé qu'un système traditionnel fonctionnant actuellement ait été construit avant 1590 (établissement des canaux des villages d'Urcuquí et Pimampiro, dans la province d'Imbabura), mais selon plusieurs auteurs, il existait apparemment une « Justice des Eaux » qui fut peu à peu remplacée par le Droit espagnol au XVI^e siècle.

ÉTENDUE DES RÉSEAUX D'IRRIGATION AU XVIII^e SIÈCLE

De nombreux systèmes ont été construits par décision des propriétaires des haciendas, au moyen soit de l'utilisation par la force de la main d'œuvre indigène ou noire (dans la province d'Imbabura), soit d'accords établis avec les communautés de paysans libres. Ces aménagements, parfois très importants avec des dizaines de kilomètres de canaux ou des ouvrages spéciaux comme des tunnels, étaient fragiles et exposés à la destruction par des facteurs naturels (éboulements, tremblements de terre).

ÉVOLUTION AU COURS DES XIX^e ET XX^e SIÈCLES

Les changements sociaux, démographiques et économiques ont une incidence sur la propriété de la terre et bien entendu de l'eau. D'une part, les grandes haciendas commencent à être divisées et réparties entre les héritiers qui ne s'accordent pas toujours pour partager l'eau ; ceci se résout parfois avec la construction de nouveaux systèmes d'irrigation. D'autre part, les groupes de paysans, indigènes ou métis, demandent l'accès à l'irrigation arguant de leur importante participation à l'entretien des canaux d'irrigation. Quelques individus achètent aussi des droits à l'eau sous diverses formes : temps d'utilisation d'un module dans un tour d'eau, ou d'un module continu provenant d'un partiteur latéral sur le canal principal. À ce propos, l'organisation paysanne pour partager l'eau lorsque le nombre d'usagers devient important, semble naître au cours de la deuxième moitié du XIX^e siècle dans la province de Tungurahua, région de l'Équateur ayant la plus forte densité de population et disposant de systèmes d'irrigation gérés par des paysans.

Au cours du XX^e siècle, la pression démographique, l'ambition de posséder des terres, les graves conflits en résultant et les changements politiques provoquent certaines réformes telles que la Réforme Agraire, la nationalisation des eaux et la création de l'INERHI dont l'action va s'appuyer sur la nouvelle « Loi des Eaux » promulguée en 1972.

L'INTERVENTION DE L'ÉTAT

Le gouvernement prend peu à peu conscience de l'importance de l'irrigation. En 1936, l'État dicte une première Loi des Eaux afin de régler la distribution de la ressource et diminuer ainsi les nombreux conflits surgis entre les différents usagers.

La Caisse Nationale de l'Irrigation, créée en 1944, a pour objectif principal de construire et de développer des infrastructures d'irrigation, mais cette entité ne tient pas compte des aspects de planification et de gestion de l'eau.

La Loi de création de l'Institut Équatorien des Ressources Hydrauliques (INERHI) en 1966 répond à une nécessité d'élargir le champ d'action et de concentrer l'intervention de l'État dans une seule entité dont les attributions principales sont les suivantes :

- construire et exploiter des terrains d'irrigation, seule ou en collaboration avec d'autres institutions ;
- réaliser l'inventaire des ressources hydriques (conjointement avec l'INAMHI) et des besoins en eau de tout type ; élaborer le Plan National d'Irrigation ;
- traiter les demandes d'utilisation de l'eau et en maintenir un registre actualisé.

En dehors de l'INERHI, d'autres institutions interviennent également dans l'étude des ressources et des besoins en eau (INECEL, IEOS, etc.) et plusieurs entités régionales (CEDEGE, CREA, CRM, PREDESUR) ont pris à leur charge la construction et l'exploitation de terrains d'irrigation, ainsi que la définition de schémas de planification régionale.

Cependant, la dernière attribution (gestion de l'eau) correspond exclusivement à l'INERHI tel que stipulé dans la Loi des Eaux de 1972, qui attribue à toutes les ressources hydriques le caractère de biens nationaux d'usage public et charge l'INERHI de leur gestion.

Cette différenciation des fonctions a généré 2 grands types de terrains d'irrigation dans le pays :

- l'irrigation étatique pour laquelle toute l'infrastructure ou une grande partie de celle-ci a été construite par des entités publiques qui assument son entretien et prennent en charge la distribution de l'eau,
- l'irrigation privée pour laquelle les usagers doivent obtenir de l'INERHI une concession d'eau et prendre à leur charge la construction et l'entretien de l'infrastructure.

Les usagers se chargent également de la distribution et doivent créer une *junte de l'eau* lorsque plus de 5 personnes exploitent une même concession. L'INERHI n'intervient qu'en cas de conflit, surtout à travers ses agences régionales.

L'État agit ponctuellement à travers des programmes de réhabilitation et d'amélioration des infrastructures, mais intervient très peu dans le développement des périmètres.

Pour obtenir des conditions similaires, les usagers de l'irrigation étatique paient un tarif annuel 100 fois supérieur à celui pratiqué pour les usagers de l'irrigation privée.

Cette dernière est la plus importante en termes de bénéficiaires et de surface. Dans le bassin du rio Mira, 85 % de la superficie irriguée correspondent à l'irrigation privée, 5 % à l'irrigation étatique et 10 % partagent les deux systèmes. Toutefois, l'irrigation privée est encore mal connue et il n'existe pas de données sur son fonctionnement.

La plupart des endroits idéaux sont déjà équipés et la construction de nouveaux projets sera chaque fois plus coûteuse. Il est temps d'examiner si l'amélioration des terrains d'irrigation existants peut augmenter de manière significative la production agricole.

En ce sens, l'irrigation privée contient de forts potentiels de développement, est présente partout et concerne donc de nombreux agriculteurs qui ont une forte tradition d'irrigation et connaissent les améliorations à apporter à leurs systèmes.

Il est donc intéressant d'entreprendre une étude globale afin de proposer à l'État un plan d'intervention à l'échelle régionale et nationale. C'est l'objectif du projet ORSTOM-INNERHI.

FICHE N° 4

PROJET ORSTOM-INERHI OBJECTIFS ET ORGANISATION

L'accord de coopération correspondant a été signé en décembre 1986 pour une période de 30 mois, entre l'INERHI et l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM), dans le but de contribuer à la formulation du Plan National d'Irrigation.

Objectifs principaux : établir un diagnostic sur le fonctionnement de l'irrigation privée, détecter les terrains d'irrigation dont la réhabilitation peut être intéressante, identifier les formes d'intervention et hiérarchiser les projets en fonction de la politique nationale.

L'irrigation privée est mal connue. L'inventaire permet de localiser les terrains d'irrigation, de décrire et caractériser les infrastructures et les périmètres au moyen de la photo-interprétation ainsi que sur la base de la documentation disponible, d'enquêtes et de vérifications de terrain.

Le fonctionnement de ce type d'irrigation est assez complexe. Il est donc nécessaire de l'étudier à tous les niveaux, depuis la répartition des dotations (au niveau des prises d'eau) jusqu'à l'utilisation de la ressource (au niveau des parcelles). Ceci implique également la réalisation d'analyses sur l'hydraulique agricole, l'agronomie et la socio-économie, dans le but de détecter des indicateurs de dysfonctionnement. Les études sont menées dans des zones pilotes représentatives des diverses situations rencontrées.

D'autres indicateurs (demande en eau, ressources disponibles, systèmes de production) sont obtenus à partir d'études thématiques spécifiques, tant du milieu physique que du milieu agro-socio-économique.

Tous les résultats ont été rassemblés dans une banque de données informatisée qui permet d'avoir une vision complète de la situation à trois niveaux différents : par système d'irrigation, par zones (ZARI) et par bassins hydrographiques.

Le travail correspondant au bassin du Mira est pratiquement terminé et une grande partie des résultats relatifs aux bassins du Guayllabamba et du Pastaza ont déjà été obtenus. Les études sur la province d'Azuay ont commencé.

LA CRÉATION D'UNE UNITÉ SPATIALE D'INVENTAIRE ET D'ANALYSE DU FONCTIONNEMENT DE L'IRRIGATION

LA ZARI : ZONE D'ANALYSE ET DE RECOMMANDATIONS POUR L'IRRIGATION

La ZARI est une unité opérationnelle de recherche et de planification conçue à partir de l'observation de plusieurs aménagements hydro-agricoles.

LES ÉTAPES DE CONCEPTION

Le bassin unitaire est l'unité fondamentale des hydrologues : elle leur permet d'étudier les transformations pluies-débits et d'estimer la ressource eau.

En cas de modélisation d'un grand bassin hydrographique, il constitue l'unité spatiale élémentaire, la maille sur laquelle seront calculés les bilans de l'offre et de la demande en eau (voir figure n° 1).

Le premier inconvénient apparaît dans sa définition : en tant que bassin versant, ses limites sont définies par des lignes de crête observées dans les parties montagneuses, mais assez floues lorsqu'on arrive au couloir interandin ou que l'on travaille sur la *Costa*.

Additionnellement, des bassins de liaison ont été dessinés afin de relier les bassins unitaires entre eux et constituer un canevas hydrologique complet des grands bassins.

Ces unités additionnelles respectent évidemment le sens du drainage, gardent les mêmes dimensions que les bassins tracés par ORSTOM-PRONAREG et tiennent compte des stations hydrométriques existantes (voir figure n° 2).

La première idée était d'admettre une prolongation des bassins unitaires qui éliminerait les bassins de liaison. Les limites restaient cependant difficiles à établir à cause de la grande complexité des réseaux caractérisés par :

- une très forte densité de canaux et de multiples croisements (imbrication de réseaux d'irrigation) ;
- un manque d'informations fiables sur la localisation des prises, les débits qu'elles captent, les trajets des canaux, les subdivisions, etc. ;
- de très nombreux transferts entre bassins, qui rendent difficile la compréhension de leur fonctionnement.

Face à ces problèmes, il était indispensable de trouver sur le terrain une unité spatiale ayant une définition claire et sensée et des limites relativement simples.

La notion de ZARI essaie de répondre à ce besoin d'entité spatiale et de limites claires. Sa définition est la suivante :

ZARI : unité spatiale d'organisation du prélèvement, du transport et de l'utilisation de l'eau d'irrigation

Il s'agit donc d'une zone élémentaire dans laquelle on trouvera les prises, les canaux et les périmètres irrigués. Dans le cas de deux bassins unitaires juxtaposés, la limite correspondra le plus souvent aux rios eux-mêmes, et par conséquent, la ZARI sera formée de deux moitiés de bassins unitaires, augmentées d'une partie du bassin de liaison (voir figure n° 3).

Dans d'autres cas, la ZARI sera limitée par une grande ligne de crête et par un rio (simple demi-bassin unitaire) ; il y aura parfois une correspondance entre le bassin unitaire et la ZARI.

CONSÉQUENCES POUR L'ANALYSE HYDROLOGIQUE

La discordance entre bassins unitaires et ZARI exigera deux trames différentes pour chaque bassin hydrographique. Cependant, comme chaque type de demande (agricole, hydroélectrique, humaine) est relié à un réseau hydrographique par la prise d'eau correspondante, il sera facile de passer de l'un à l'autre.

En revanche, les demandes potentielles devront être affectées à un bassin unitaire afin de vérifier la disponibilité d'eau et de mesurer leur impact en aval.

UN EXEMPLE D'APPLICATION : LA ZARI D'URCUQUÍ

Située dans la province d'Imbabura et faisant partie du bassin hydrographique du rio Mira, la ZARI d'Urcuquí a été choisie comme terrain représentatif.

C'est tout d'abord le bassin unitaire du rio Pingunchuela qui avait été retenu, mais ce choix péchait par le fait que les plus gros périmètres s'alimentaient sur le bassin voisin.

En décalant la zone d'étude et en prenant comme nouvelles limites les gorges de fond de vallée, on obtient un ensemble homogène par rapport aux aménagements, comme le montre le schéma de la figure n° 5.

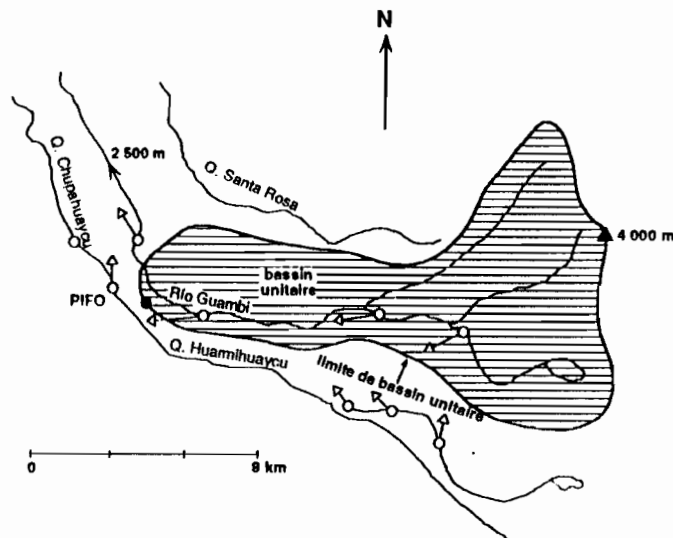


Figure 1
Exemple de bassin unitaire, rio Guambi (30 km à l'est de Quito)

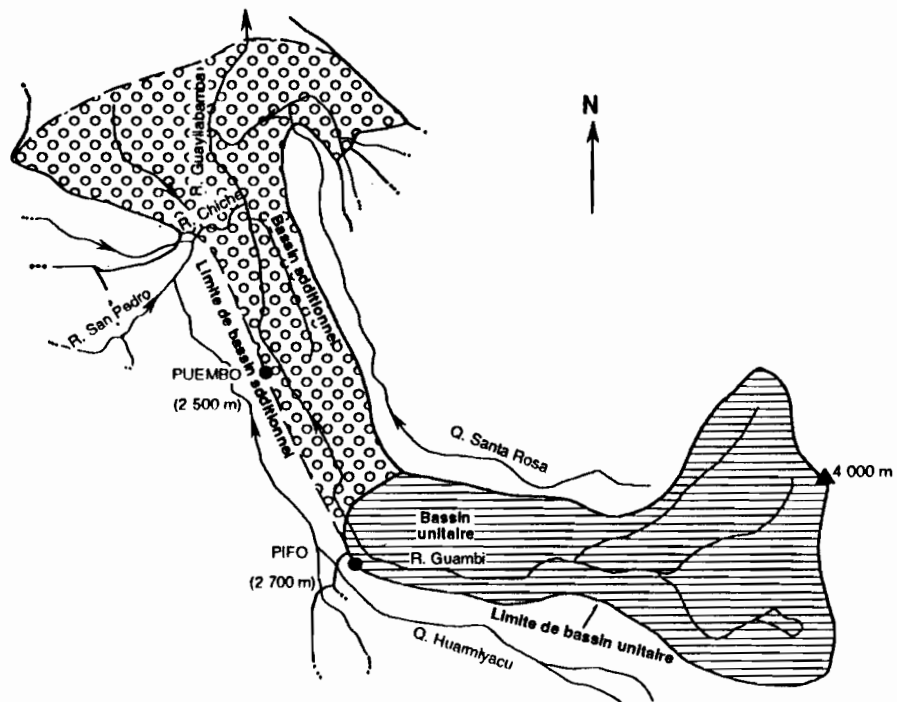


Figure 2
Exemple de bassin de liaison en aval du bassin unitaire du rio Guambi

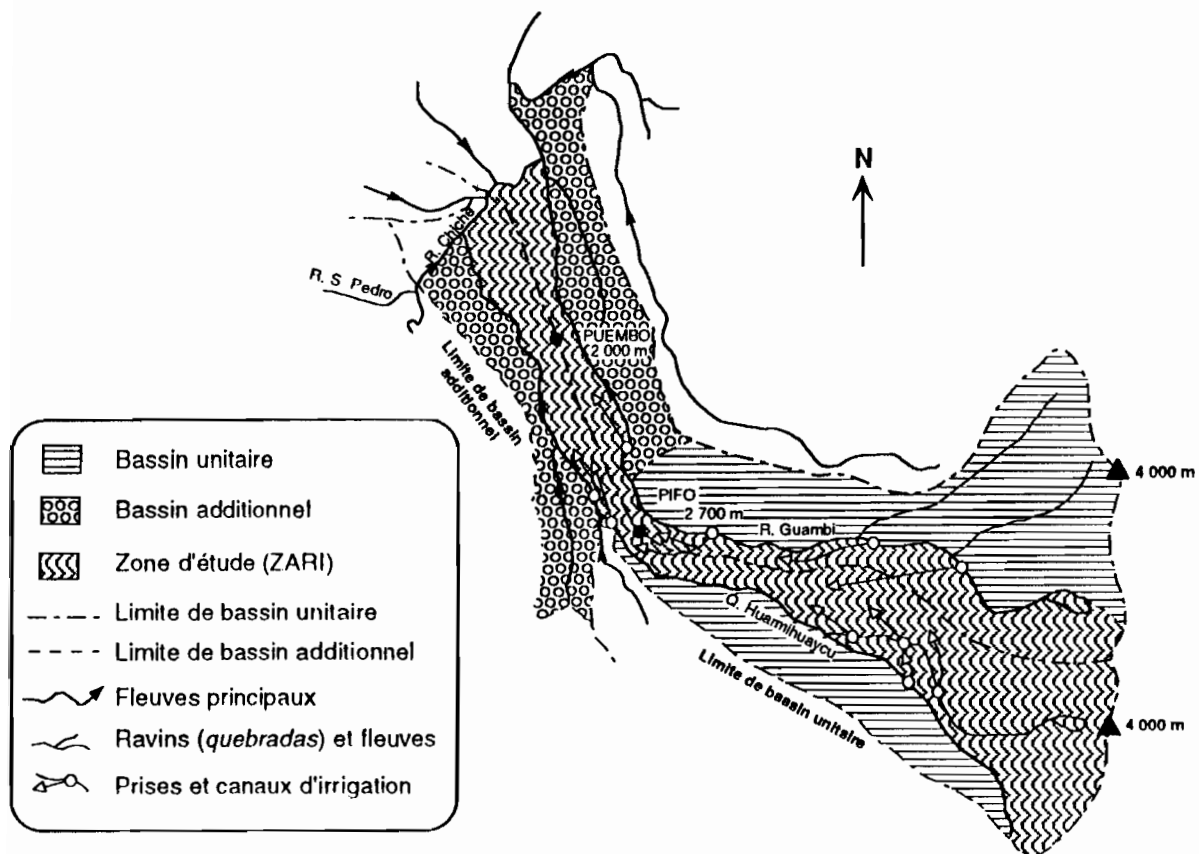


Figure 3
Exemple de ZARI: la ZARI de Puenbo-Pifo qui dépend
en partie du bassin unitaire du río Guambi

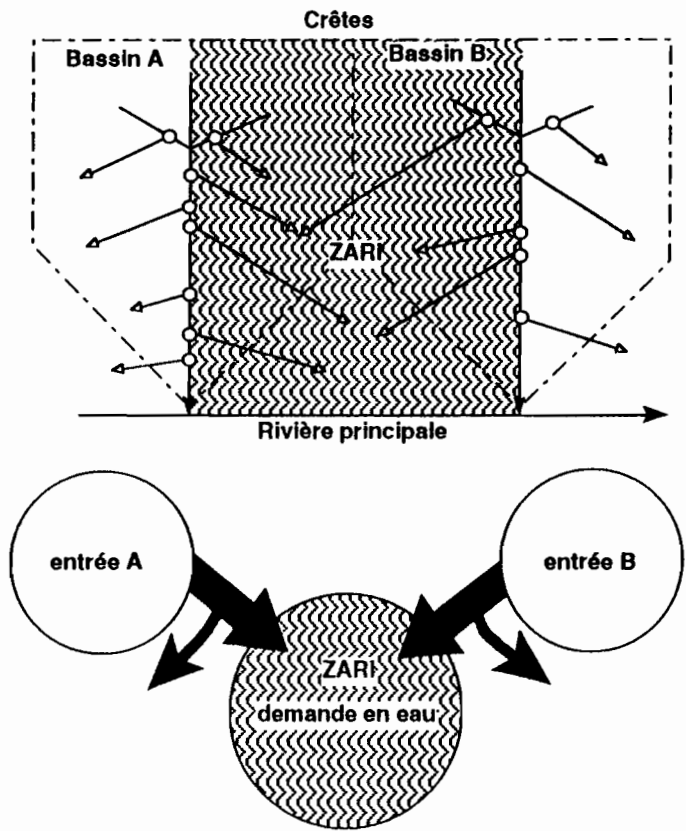


Figure 4
Théorie des relations entre bassins et ZAR

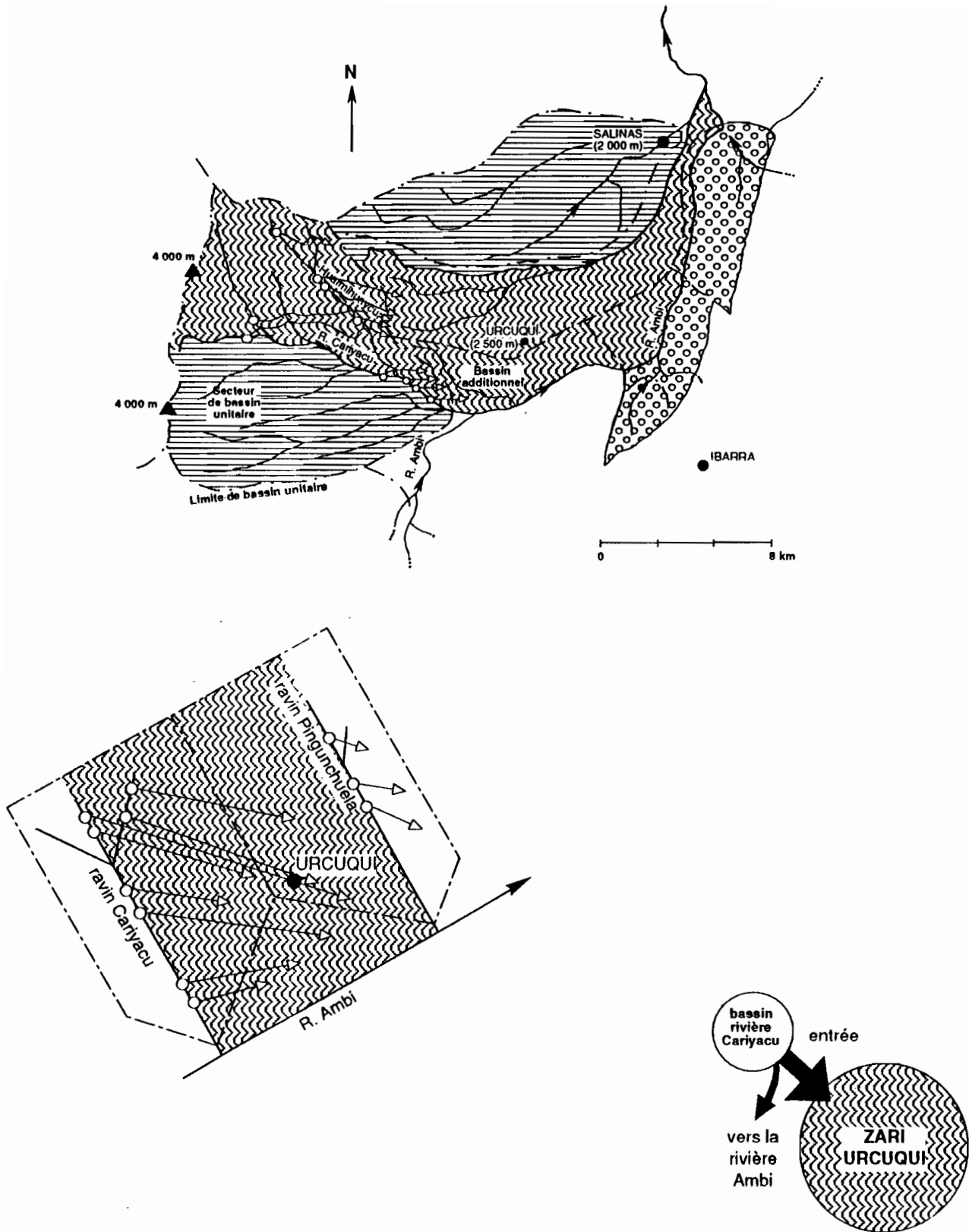


Figure 5
La ZARI d'Urcuquí (province d'Imbabura, 30 km au nord de Quito)

LOCALISATION ET ORGANISATION DE L'IRRIGATION PRIVÉE

Cette opération constitue la base de toute planification ultérieure et permet de généraliser les résultats obtenus dans les zones pilotes. Son objectif est de localiser, de délimiter et de décrire l'ensemble des systèmes d'irrigation du pays ainsi que d'en effectuer une première caractérisation centrée sur l'irrigation privée.

Elle utilise donc toute l'information générale rassemblée par l'INERHI, ainsi que les rapports techniques élaborés par chacune des agences afin d'attribuer et de renouveler des concessions ou pour résoudre les différents conflits.

Les données précédentes sont complétées par photo-interprétation afin de délimiter avec précision les périmètres irrigués et de déterminer leurs principales caractéristiques (découpage en parcelles, pente, types de sols, etc.), en utilisant également les résultats publiés par ORSTOM-PRONAREG.

Des vérifications de terrain permettent d'actualiser les résultats obtenus à partir des photographies aériennes et de résoudre les incohérences.

Des enquêtes sur chaque périmètre détecté complètent les données sur la propriété de la terre, l'utilisation de l'eau au niveau de la parcelle et les problèmes existants.

Toute l'information précédente est codifiée (voir fiche suivante) pour être saisie dans une base de données facilement actualisables et faciliter ainsi les études de réhabilitation. La description et la caractérisation sont effectuées au niveau du système d'irrigation (infrastructure et périmètres interdépendants).

Le matériel informatique dont dispose l'INERHI (micro-ordinateur et logiciel D Base III Plus) est suffisant pour permettre aux agences d'alimenter et d'actualiser cette base de données.

SCHÉMATISATION ET CODIFICATION DES INFRASTRUCTURES ET DES PÉRIMÈTRES

Types de canaux

- AP canal d'apport
- RD tronçon de distribution, toujours situé à l'extrême
- AC infrastructure simple (un seul tronçon)
- CA canal simple (tous les types autres que AP, RD, AC)

Types de nœuds

- * au début d'un canal : BC (prises d'eau)
- * à la fin d'un canal : PF (périmètre final)
- * entre deux canaux
 - les nœuds simples
 - NU nœud de liaison
 - ND nœud de division
 - NM nœud mixte (liaison et division)

- les nœuds périmètres
 - PE périmètre avec un canal
 - PD périmètres avec un nœud de division
 - PU périmètre avec un nœud de liaison
 - PM périmètre avec un nœud mixte

Caractérisation des canaux

AP: BC —————> NU, ND, NM
 PU, PD, PM, PE

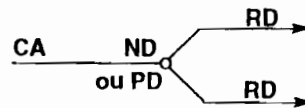
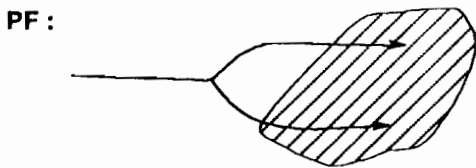
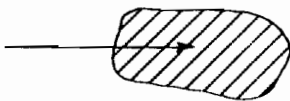
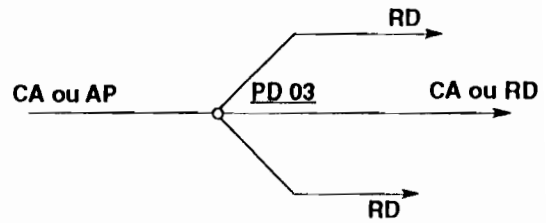
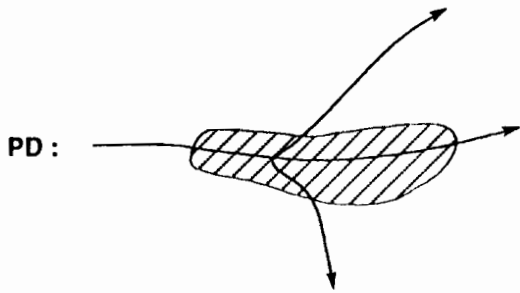
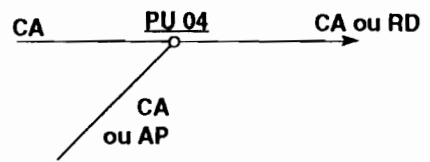
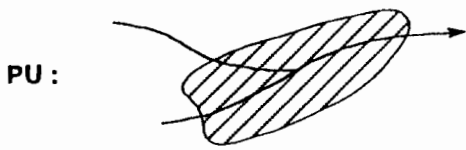
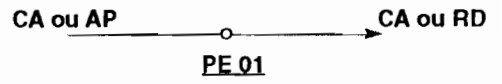
RD: PD, PU, PM, PE —————> PF
 ND, NU, NM

CA: NU, ND, NM —————> NU, ND, NM
 PE, PU, PD PE, PU, PD
 PM

AC: BC —————> PF

NOTA

- Tous les canaux, nœuds et périmètres reçoivent deux chiffres, de 01 à 99. Les périmètres sont classés par ZARI et non par système.
- Les prises ont des codes provisoires du même type (deux chiffres) et recevront leurs codes définitifs ultérieurement.
- Tous les PF, PE, PU, PD et PM qui représentent le même périmètre, ont la même identification numérique sur la carte. Un périmètre peut donc être représenté sur la carte par plusieurs PF et un seul nœud (PE, PD, PU ou PM).
- Il existe également un type spécial de périmètre : PP, périmètre potentiellement irrigable, qui sera utilisé plus tard.



FICHE N° 7

TRAVAUX ET ACTIONS PLURIDISCIPLINAIRES SUR L'AGRICULTURE DE TERRAINS REPRÉSENTATIFS DE L'IRRIGATION ÉQUATORIENNE

OBJECTIFS

Cette recherche sur des cas réels permettra aller au-delà de la seule description et d'évaluer les périmètres favorables aussi bien que les défavorables pour la valorisation agricole de l'eau, à savoir : le climat, l'infrastructure, le consensus social pour gérer de façon équitable la ressource eau, l'histoire socio-économique et agricole, la géomorphologie, le comportement hydrique des sols, les conditions de reproduction de l'écosystème cultivé et transformé par des améliorations hydro-agricoles.

En vue d'organiser ce travail pluridisciplinaire visant à l'établissement de diagnostics les plus complets possibles, cette opération a été divisée non pas par disciplines mais par niveaux de travail.

1. Étude préliminaire, localisation et pré-diagnostic sur les ZARI

L'information sur le tracé des canaux et sur la localisation des prises d'eau et des périmètres sera obtenue sur le terrain et en collaboration avec des personnes « autorisées ». On effectuera une reconnaissance systématique, en suivant les canaux. Une première carte de localisation (au 1/25 000) sera établie et vérifiée en analysant les éventuelles photographies aériennes (anciennes ou récentes) de la zone.

Des entretiens avec les « représentants » de la zone permettront d'établir des contacts, de formuler quelques hypothèses sur le fonctionnement de l'irrigation et de l'agriculture, de faire connaître le projet d'étude et sa durée, de choisir une ou deux parcelles « témoin » (qui seront utilisées pendant un an) et de recruter un observateur.

2. Travail au niveau de la ZARI

Il consiste à caractériser et à évaluer la distribution des ressources en eau à l'intérieur de la ZARI, à détecter les pertes éventuelles et à en mesurer l'importance. Quatre types d'études complémentaires seront donc entrepris :

- Des enquêtes agro-sociologiques sur l'eau et sa distribution dans chaque périmètre, à partir d'un échantillon stratifié et raisonné ; seront retenues les exploitations correspondant à un échantillon de parcelles distribuées sur les différents périmètres, auxquelles on appliquera un questionnaire qui permette de comprendre le fonctionnement général du périmètre objet de l'enquête, d'identifier les problèmes de gestion de l'eau sur la parcelle et d'évaluer l'intérêt de l'enquête.
- Ces données serviront à caractériser le fonctionnement de chaque périmètre de la ZARI et de les comparer ensuite entre eux. Par ailleurs, le questionnaire contiendra une partie ouverte pour que l'enquêté puisse s'exprimer sur tel ou tel problème de l'irrigation, ce qui permettra de compléter la liste des différentes défaillances ou dysfonctionnements à prendre en compte.
- Estimation des pertes d'eau par filtration ou par mauvais état de l'infrastructure, au moyen de mesures ponctuelles et simultanées de débit sur un échantillon de canaux.
- Mesure journalière du débit qui arrive dans quelques périmètres représentatifs de la zone, afin de connaître la consommation réelle et d'analyser la stabilité du débit disponible.

3. Travail au niveau des unités d'utilisation du sol et des exploitations

Il consiste à estimer et à expliquer les productivités agricoles des différentes unités d'utilisation du sol, au moyen d'une enquête agro-socio-économique sur un échantillon d'exploitations représentatives. On privilégiera la qualité de l'information et non sa quantité.

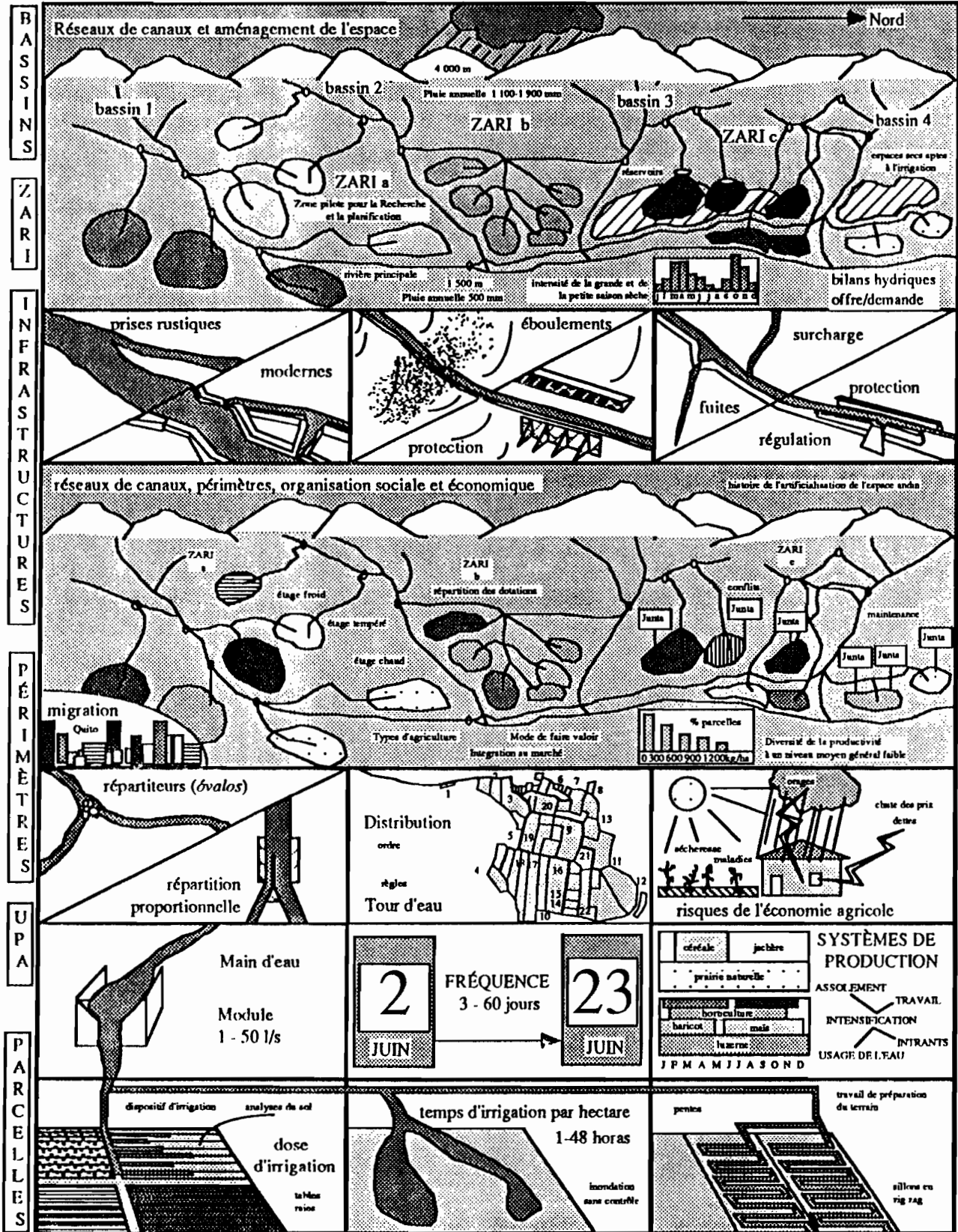
La recherche concernera également l'histoire récente et les structures actuelles d'exploitation, le fonctionnement agricole (relation des cultures, calendriers, contraintes du système d'exploitation) ainsi que les résultats agricoles et économiques.

4. Travail au niveau des parcelles de base

À ce niveau, on recherchera un minimum de références sur le fonctionnement de l'irrigation : consommation de l'eau, techniques employées et leur efficacité, problèmes agro-économiques, économie de l'eau.

Par ailleurs, la parcelle de référence, choisie justement dans le but de dénoncer une insuffisance d'eau, témoignera des difficultés dans la distribution de cette ressource.

LES ÉCHELLES DE TRAVAIL SUR LE FONCTIONNEMENT DE L'IRRIGATION DANS LES ANDES



FICHE N° 8

BASE DE DONNÉES SUR L'IRRIGATION

La base de données rassemble tous les résultats précédents (inventaire, zones pilotes, études thématiques) et calcule les nouveaux indicateurs en comparant les uns aux autres. Elle permet ainsi d'avoir un panorama de la situation à trois niveaux différents :

- Au niveau du bassin hydrographique, l'État a une vision claire du type d'action qu'il doit entreprendre (extension des terres irriguées, intensification des périmètre existants, etc.). Dans cette vision globale, la base de données identifie les ZARI ayant le plus de problèmes et dans lesquelles une intervention aurait des effets intéressants.
C'est l'unité spatiale sur laquelle seront calculés également les bilans entre demandes et ressources en eau afin de mieux adapter la distribution de la ressource.
- La synthèse au niveau des ZARI aborde le problème de l'organisation des prises et des infrastructures, en tenant compte aussi de la structure socio-économique de la micro-région. La surface potentiellement irrigable ne disposant pas encore d'infrastructure est également analysée. Cette synthèse permet de prévoir les impacts des ouvrages de réhabilitation.
- Le diagnostic au niveau du système d'irrigation est principalement technique. Les informations décrivent le fonctionnement des différentes parties d'un système : prises d'eau (ouvrages de régulation, débits concédés et réellement dérivés), transport et distribution (complexité et type d'infrastructure, répartition, entretien), utilisation dans les périmètres (dotations, cultures, systèmes de production).

Cette forme d'analyse doit déboucher sur la formulation de propositions concrètes orientées vers l'amélioration de la production agricole et la hiérarchisation des projets en tenant compte de la volonté politique du gouvernement.

FICHE N° 9

PROBLÈMES DE DYSFONCTIONNEMENT RENCONTRÉS

AU NIVEAU DE LA DEMANDE EN EAU ET DES INFRASTRUCTURES

Faible débit fictif continu à cause de l'insuffisance de ressources dans les bassins alimentant le réseau.

Fragilité des ouvrages de prise et absence d'ouvrages de régulation adaptés.

Forte inégalité dans la répartition des dotations, compte tenu des différences normales entre les étages agro-écologiques, ce qui se traduit dans l'ensemble par un paysage hétérogène.

AU NIVEAU DU TRANSPORT ET DE LA RÉPARTITION

Existence de nombreuses pertes au long des canaux d'irrigation et absence d'ouvrages de protection, ce qui implique des travaux d'entretien quasi permanents.

Division du débit effectuée généralement par des partiteurs non proportionnels (de terre), qui n'assurent pas une répartition fiable et sont faciles à altérer.

AU NIVEAU DE LA DISTRIBUTION

Absence de tours d'eau, ce qui a pour conséquence une répartition inégale entre les usagers en amont et ceux en aval.

Temps de transfert trop long dans le réseau de distribution, résultat des mœurs et de la tradition des droits d'eau acquis. Le système de distribution ascendant est très rare en Équateur, bien qu'il soit le plus équitable entre usagers.

Forte irrégularité d'un module d'irrigation à un autre, du fait de problèmes d'infrastructure qui ne permettent pas de garantir un débit attribué.

L'absence de réservoirs de stockage induit des pertes importantes durant la nuit.

Fréquence d'irrigation inadaptée à l'intensification des systèmes agricoles de production. Dans le cas de sols ayant des réserves utiles parfois très faibles, il devient difficile de prendre le risque avec une culture sensible à la sécheresse si la période entre deux irrigations est trop longue.

AU NIVEAU DES PARCELLES

Module d'irrigation inadapté, soit trop faible (< 5 Vs) ou trop fort (> 20 Vs).

Dispositif d'irrigation peu efficace.

AU NIVEAU DES SYSTÈMES DE PRODUCTION DES AGRICULTEURS

Outre les problèmes de pénurie d'eau, les agriculteurs font face à plusieurs contraintes telles que le manque de capital, d'emprunts, de force de travail ; ils prennent d'importants risques économiques à cause de l'absence d'organisation et de régulation des marchés agricoles.

Complexité de plus en plus grande de la division de la terre, ce qui rend plus difficile le partage de l'eau entre les micro-parcelles.

Dans ces conditions, les agriculteurs préfèrent adopter des systèmes plus extensifs d'utilisation de la terre et de l'eau, ainsi que l'élevage plus extensif sur des pâturages naturels irrigués sans trop d'effort.

AU NIVEAU DES ORGANISATIONS DES USAGERS

Multiplication et atomisation des associations, juntas, etc., qui a pour conséquence une gestion très difficile de tous les réseaux de canaux d'irrigation à un endroit donné. La gestion de l'eau et l'organisation de l'entretien des ouvrages connaissent des conflits répétés. Les interventions externes, provenant de l'État ou d'organisations non gouvernementales, continuent de se faire auprès de groupes limités, sans tenir compte de l'ensemble des usagers et des systèmes. Ces phénomènes sont graves dans la mesure où les systèmes traditionnels d'irrigation ne peuvent maintenir le service de base qu'ils offrent sans une cohésion sociale minimale entre tous les usagers. Si cette situation persiste, on verra très probablement disparaître les systèmes d'irrigation, ce qui aurait des conséquences sociales, économiques et démographiques à l'échelle tant rurale qu'urbaine.

FICHE N° 10

CONCLUSION

Selon les premiers résultats, il n'y a aucun doute que l'amélioration de l'irrigation dans la *Sierra* passe par la réhabilitation et l'intensification des systèmes d'irrigation existants et fondamentalement de l'irrigation privée.

Cette réhabilitation doit concerner non seulement l'infrastructure, mais encore les périmètres, afin d'optimiser l'utilisation de la ressource eau. Ceci implique une assistance aux paysans afin qu'ils s'organisent de façon adéquate : création de juntas de l'eau par système, élaboration de tours d'eau et de modules adaptés, application de techniques d'irrigation, etc.

Tout ce qui précède suppose aussi un contrôle et une gestion des ressources hydriques, exercés de manière précise et actualisée au niveau des bassins hydrographiques.

Si l'INERHI a la volonté de s'orienter vers une politique de réhabilitation de l'irrigation privée, il s'affrontera rapidement à des problèmes structurels. Actuellement, l'Institut n'a pas la capacité financière et de personnel pour entreprendre cette tâche (la plupart de ses ressources humaines et économiques étant destinées à l'irrigation étatique). Il existe donc deux possibilités de faire face au problème :

- effectuer une restructuration et consacrer davantage de temps, de personnel et de ressources à l'irrigation privée.
- trouver un *modus operandi* avec les différentes entités régionales et s'associer à des départements du MAG pour l'assistance technique dans les périmètres.

Dans tous les cas, les agences régionales doivent être renforcées et recevoir du matériel et du personnel technique compétent, de manière à pouvoir assurer leur importante fonction.

Com :
VIIth Afro-Asian Regional Conference
International Commission on Irrigation and
Drainage
ICID, Tokyo, 15-25/10/89, pp 351-361.

TRADITIONAL IRRIGATION IN THE ANDES OF ECUADOR

RESEARCH AND PLANNING

by P. LE GOULVEN¹, T. RUF², H. RIBADENEIRA³

Abstract

After a presentation of their area of study, the authors describe the historical evolution of irrigation in the Andes of Ecuador. The function of the state is emphasized and then the two kinds of irrigation are precisely defined. Next, the paper deals with the present problems of private irrigation systems and presents various possible strategies in terms of planning and development.

The selected strategy relies on an elementary space unit (the ZARI) and the authors explain its definition, its conception, and its meaning. Finally, they present the selected methodological outline and the various operations.

This paper, above all methodological, precedes a second one entitled "Dysfunctions and Rehabilitation" in which the preliminary results are presented and commented.

¹ ORSTOM Mission, P.O. Box 17.11.6596, Quito, Ecuador

² ORSTOM Mission, P.O. Box 17.11.6596, Quito, Ecuador

³ Plan Nacional de Riego, INERHI, Quito, Ecuador

In Ecuador, the National Water Resources Institute (Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos- INERHI), whose function is to manage water resources and to promote irrigation projects, has to develop a National Irrigation Plan for the next decade.

In a difficult economic context due to very high public debt, it is almost impossible to carry out the policy of realizing new, modern –but very expensive– irrigation projects with still low benefits.

As far as the franco-Ecuadorean team under the leadership of the authors of this paper is concerned, the main point for the elaboration of the future Irrigation Plan consists in considering what still exists, sometimes for ages, i.e., the so-called private or traditional networks as opposed to the recent state projects.

Moreover, this focus agrees with the one advocated by the international organizations. To manage the future rehabilitation activities, it is first necessary to understand the as yet unknown organization of the traditional networks, in order to analyze with precision their various operational problems.

That is the purpose of the international, multidisciplinary team of French Scientific Investigation Institute for Development and Cooperation (ORSTOM) and INERHI, dedicated to the project "Operation, Analysis of Ecuadorean Irrigation - Recommendations for the National Plan".

1. PRESENTATION OF STUDY AREAS

Ecuador extends over 281.000 km² in the northwestern part of the South American continent, between Colombia and Peru (see Figure 1).

The Andes mountain range divides the country in three areas. In the north, it consists of two distinct chains crowned by high volcanos of over 5000 meters, on each side of the inter-Andean corridor which is about 40 kilometers wide. In the south, the two mountain ranges meet and the peaks are lower.

These Andes mountains, called "sierra", constitute a specific, very early inhabited entity: *this is the project area*.

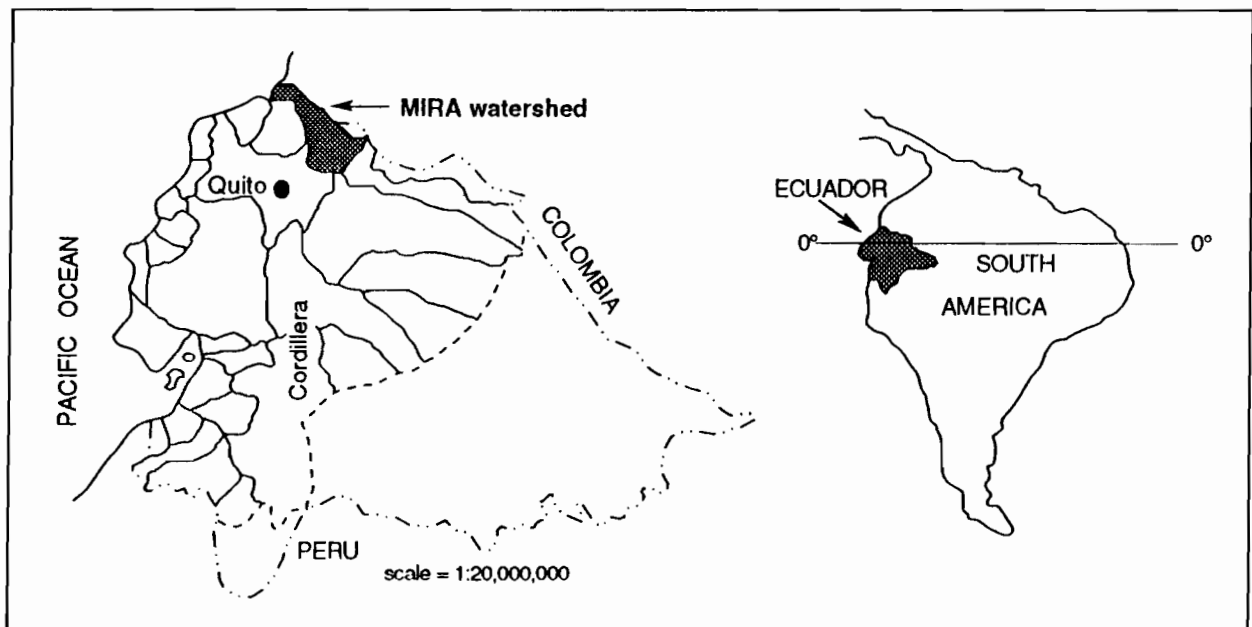


Figure 1 - Hydrographic watersheds and Andean cordillera - Ecuador

The Andean population lives mainly in the inter-Andean valley and has adapted the agriculture to its different ecological levels (1800-3500 m). Above the cultivated stages, sometimes with high slopes, are found wide meadows (3500-3800 m) called "páramos". Above 4300 meters, because of the frost, there is no vegetation, and permanent snow begins at 5000 m.

The rainfall is heavy on both sides of the Andes and variable in the inner valleys. It can go down to 400 mm in some sheltered areas where irrigation is essential. Generally, there are two rainy seasons (from February to May and from October to December), but there may be modifications:

- in some areas, i.e., valleys under the influence of the Amazon river basin climate;
- some years due to the Niño Current.

There is a high probability of drought (even short ones). That is why traditional irrigation networks can be found in almost all the valleys.

2. ANDEAN IRRIGATION: AN OLD STORY BUT RECENT STATE INTERVENTION

Irrigation was known long before the arrival of the Spaniards (1530) in the Andean areas and perhaps before the arrival of the Incas from Peru (about 1470). In the XVIth century, the native communities had a kind of water law which was gradually replaced by the law laid down by the Spanish colonizers.

Documents from the National Archives in Quito indicate that most existing networks were built between the XVIth and XVIIIth centuries when the big landowners were able to make the native labor force dig and maintain canals that were regularly destroyed by bad weather, overflows, and earthquakes.

In the XIXth and XXth centuries, owing to social and economic progress, the land was gradually partitioned, thus producing changes in the use of water.

On the one hand, the biggest haciendas were divided among the heirs, which created conflicts in water partition; these conflicts were settled by the construction of new nearby canals.

On the other hand, the peasant groups (Mestizo or Indian) claimed their water rights which were justified by their crucial participation in the construction and maintenance of the water system. Finally, some individuals or groups acquired water rights by different ways (fraction of the canal flow or the complete discharge during a definite period, etc.).

During the XXth century, the rise in population led to a demand for agricultural land (this justified the Agrarian Reform of 1960-70). The demand for water resources increased at the same time. The latter is not well known but it is the origin of numerous conflicts, even violent ones.

The state intervened for the first time in 1936 and tried to establish the first legal basis for a better distribution of water resources. Then the state created the "National Irrigation Fund" (1944) to carry out works of general interest.

As conflicts between the network owners and the users continued, the military government created the National Water Resources Institute (INERHI) in 1966. The authority of this institute was strengthened when the water resources were nationalized in 1972.

INERHI holds a monopoly on water and intervenes on two levels:

- **It studies, bulds and manages directly** a group of networks comprising irrigated areas from 500 to 10,000 hectares where farmers have to pay a tax. It is not involved in agricultural development, crop-raising advice, or production trade.
- **It checks and grants the water concessions.** Therefore, the primitive water rights are legalized because they have to be declared.

In this set, known as private irrigation, the building, maintenance and management of networks and irrigated areas are under the responsibility of the users and their organizations: *Juntas de Aguas*.

These two groups are not always independent and can be combined to form groups of irrigated areas that comprise thousands of hectares.

3. CURRENT PLANNING PROBLEMS

Taking the country as a whole, INERHI estimates the irrigated surface for agricultural use at about 550,000 hectares. More than 75% is private irrigation. Analysis of the preliminary results in the Mira watershed (See Fig. 1) seems to indicate a higher percentage in the sierra (See Table 1).

Table 1 - Description of the private irrigation network in the Mira Watershed

Number of canals	295	
Total intake flow	25	m ³ /s
Average intake flow per canal.....	85	l/s
Total length of canals.....	1,780	km
Average length of canal.....	6	km
Number of irrigated areas	275	
Total irrigated surface	53,923	has
Pure private irrigation surface area and %	46,728	has (87%)
Pure public irrigation surface area and %.....	2,210	has (4%)
Mixed irrigation system surface and %	4,985	has (9%)
Specific irrigation discharge rate in the private irrigation areas	0.5	l/s

Private facilities consist of very winding earth canals, dug on the mountain slope, which can often disappear into long unpropped tunnels and can carry flows of about 500 l/sec.

The water intakes are rustic (overflow with stones), and therefore shaky. All along the flow, the canals cut across each other and become entangled, delivering water according to the needs by means of rudimentary dividers. It is not unusual for a canal to feed several distant areas or for an area to receive water from several canals.

Generally, gravity irrigation techniques are applied as they are well adapted to the area's topography. That means that a precise analysis of the irrigation system is necessary to develop specific standards adapted to the local situation, i.e., gravity irrigation can be noted on slopes of 100%. In this case the usual standards are not applicable.

Up to now, INERHI was mainly interested in irrigating new areas to increase the irrigated surfaces. The example of Mira (like in other andean watersheds) shows that its intervention ignored the existing facilities.

These public projects appear to be the last historical intervention of superimposed equipments.

The lack of planned improvement of the private networks is mainly due to the original separation of INERHI assignments (projects on the one hand, management on the other hand) but also due to the very complexity of the traditional existing civil works, the inventory of which was not always complete or precise. Moreover, the access to the water intakes is often difficult and their control sometimes impossible.

Without method or a well-guided, determined policy, the intervention of the government was punctual and specific: to build here a modern intake, there a storage tank...

Today irrigation in the Andes is being designed differently thanks to several new elements. Most of the ideal sites for irrigation are used and every new project will cost more and more. The country is affected by a serious economic crisis and had to be more careful in its investments, owing to a still high external debt.

Now is the time to guide state intervention (and therefore INERHI) towards a better management of the existing systems, especially the intensification of traditional irrigation for the following reasons:

- **It supplies the main part of the usual consumer goods.**
- **As it is not very technological, its development potential is higher.**
- **It exists throughout the country and involves many people who already have a basic knowledge of irrigation.**

To prepare this new sphere of activities, INERHI and ORSTOM have decided to collaborate in order to establish (first at the Andean level and then at the national one) a methodology based on scientific standards which would result in practical recommendations for the elaboration of a development plan.

Because the operation of the private system is relatively unknown, it is necessary to study the use of water in its entirety in order to detect its weaknesses and to enhance its strengths.

This means that a multidisciplinary study will have to be carried out that can analyze the problem at various levels and provide the necessary data to implement the recommendations.

4. A RESEARCH AND PLANNING SPACE UNIT: THE ZARI

The country contains about thirty big watersheds of various importance; in the sierra they are very well defined.

They are obviously too wide and too heterogeneous to constitute the basic unit of analysis, but they represent a preliminary classification for the total water resources. They usually belong to a region and often include a big town, a trade and exchange centre.

It means that this space division has to be considered in the Ecuadorean Andes.

The hydrologists have refined this partition and divided it into unitary watersheds (or micro-basins) where they estimate the water resource.

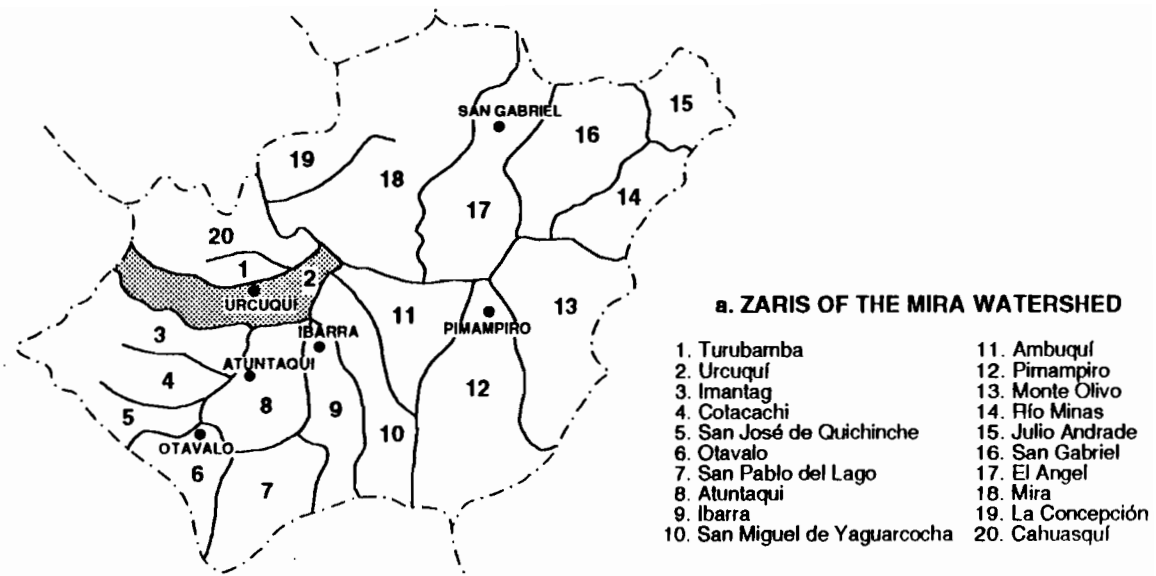
This notion, as appealing as it may be, is unfortunately not adapted to the study of the irrigation networks. The lower parts of the irrigated areas are flat enough to allow the mixing of canals of various origins. Even in the higher parts, the watersheds do not constitute an obstacle to the canals which skirt round them or cross under them in tunnels.

That is why it was necessary to think up and delimit space units that deal with reality: the ZARI (Zone of Analysis and Recommendations for Irrigation).

The ZARI is a space organization unit of the taking, transport, and use of irrigation water.

Its boundaries are formed by the important natural obstacles that the network cannot cross. Owing to its very pragmatic definition, the ZARI is the ideal unit of analysis, and it is also a consistent geographical unit on the social and economic level.

Naturally well limited, it has been inhabited for a long time by human groups who share a common history, sometimes in harmony, often with conflicts. Within each ZARI, the infrastructure has been laid down by the local labor force, with limited investments.



Reference for ZARI	AT MIRA (20 ZARI)	ZARI OF URUCQUI
Spatial dimension	50 - 300 km ²	98 km ²
Number of systems	10 - 20	17
Number of trenches	20 - 40	40
Length of transport	30 - 250 km	192 km
Diversion discharge of ZARI	300 - 5,000 L/s	4,496 L/s
Number of perimeters	7 - 32	32
Continuous flow rate in Perimeter	0.1 - 2 L/s/ha	0.05 - 2 L/s/ha

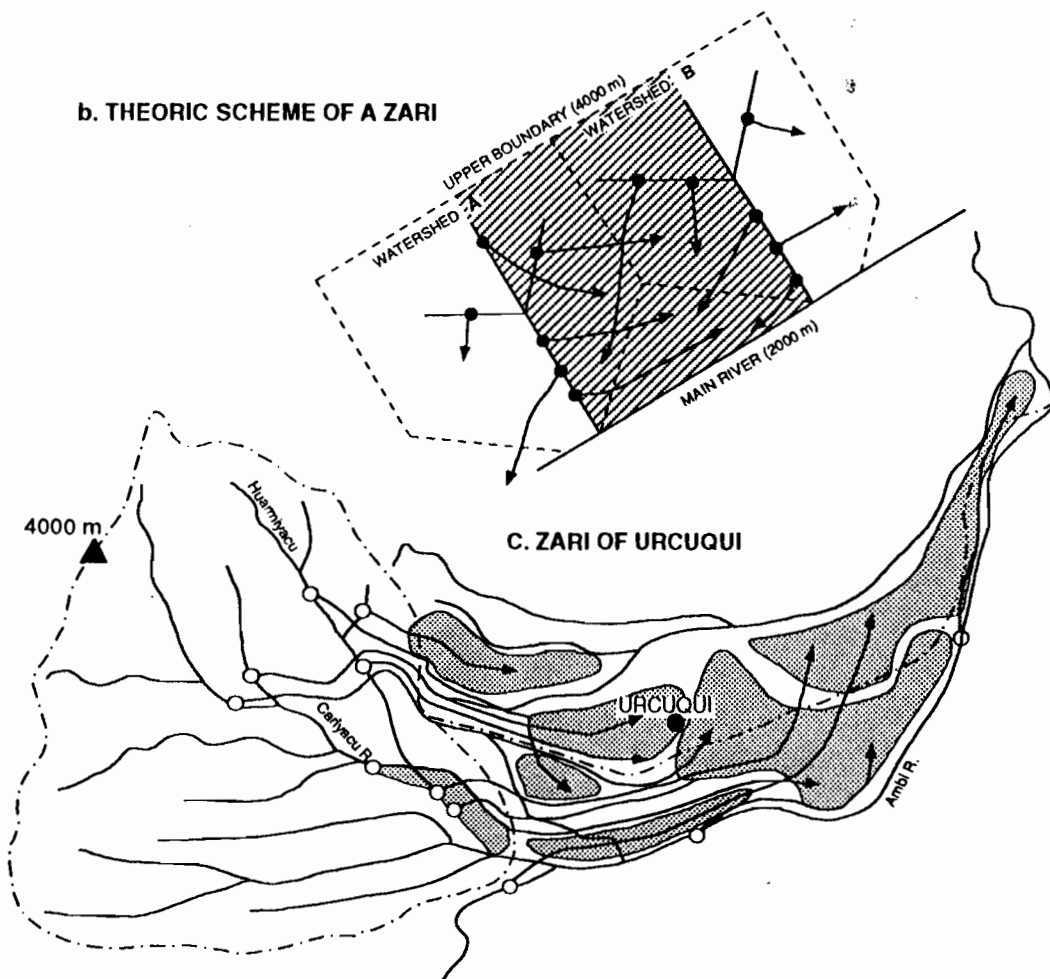


Figure 2 - Theoric and actual examples of ZARI

Any water transfer between ZARI costs more, requires a higher level of technology, and has regional repercussions. All the same, any transfer between watersheds in the sierra implies a big project which should be decided upon at a national level.

Thus the planning process can rely on these two space divisions which have a true geographical value, contain the production units, and can help establish the cost and impact of a development policy.

The size of the ZARI varies between 50 and 200 km² and its boundaries are established in two stages. Provisional boundaries are drawn up according to the topography and hydrographic network; then they are modified when the infrastructure and the irrigated areas are taken into account.

The Mira hydrographic watershed is subdivided into 20 ZARI (see figure 2a), generally created by the union of two half-unit watersheds (see figure 2b).

Normally no canal should cross over from one ZARI to another (see definition). Actually there are some interconnecting canals but they are rather unimportant channels that feed industrial crops (sugar cane, for example) or public networks.

So the definition of the ZARI is essentially adhered to and permits to lay down a preliminary classification of facilities according to their importance and impact.

The ZARI forms the basic space unit, on which the analysis and diagnosis are carried out according to the various concomitant operations which are being studied.

5. PHASES OF STUDY

The study is divided into six operations that fulfill precise purposes.

a. Description of the system

The first operation (LOCIE) locates the irrigation systems and describes their functioning by ZARI and wide basin. The irrigated areas are delimited by photo interpretation and then by the analysis of the SPOT satellite pictures.

The system's condition and functioning are described in detail according to a logical code that divides the networks into unitary segments characterized by a function (supply, transport, distribution) and connected by operation junctions (combination-division). This coding is adapted to the complex systems and is easily computerized.

b. System understanding

Two operations are designed to explain the organization and functioning of the irrigation systems. THANIE is the first and deals with the historical analysis of the irrigation in the Ecuadorean Andes since the colonial period.

The archive documents explain in large part the inadequacies of the infrastructure (redundancy of canals).

The second operation called TAPATRIE is carried out in one representative ZARI in each big watershed.

In the Mira watershed, the ZARI of Urcuquí was chosen (see Fig. 2c). It contains a very dry ecological environment (1800-2000 m) and includes the three major types of production systems: sugar cane haciendas, cattle-raising haciendas, and very small mixed farming.

Measurements and inquiries are carried out at three levels: ZARI and irrigated areas, farms, and plots of land.

The measurements aim at evaluating the water consumption at different levels and the efficiency of transport, distribution, and in the plot of land.

The inquiries give an idea of the water distribution and of farming productivities.

c. Characterization of the system

A hydrological analysis (EGRADIE) calculates, on the one hand, the water demands at the level of the irrigated areas and the ZARI and, on the other hand, evaluates the available resources at the level of the unitary watersheds.

The water requirements are calculated after a very complete climatological analysis. It has been carried out using the regional vector method. The inventory data, completed by field measurements, provide the system's characteristics.

The water resources are evaluated using a hydro-pluviometrical model at a monthly time step. The intakes situated on the hydrographical network provide relation between the supply unit (unitary watershed) and the water requirements unit (ZARI).

Finally, a detailed study of the farming statistic (OCASEZIE) attempts to determine the realistic margin of productivity evolution in an irrigated area or ZARI by comparing the well-supplied areas with the ones where the water shortage becomes a restrictive factor.

d. Elaboration of diagnosis

Each operation has to contribute to the formulation of the diagnosis. The results are gathered in several computerized data banks.

It is necessary to connect them to obtain a detailed panorama of private irrigation performances at the level of each ZARI, of its weaknesses and potential improvements.

That is the aim of the last operation (BIDRIE).

CONCLUSION

Faced with an unknown and complex reality, the INERHI-ORSTOM project has elaborated a research methodology to support future decisions on irrigation development.

In the last two years a great number of partial results have been obtained in each operation. It is not possible to present all of them in this paper.

But, in contrast, the total results obtained at the level of some of the ZARI of the MIRA watershed have permitted to furnish various recommendations, which are presented in the paper entitled "Dysfunctions and Rehabilitation".

REFERENCES

- **GALLARDO, G., 1987.** "Políticas de riego en el Ecuador", rev. DEBATE nº 14, CAAP, Quito, pp. 87-98.
- **GONDARD, P., 1984.** "Inventario y cartografía del uso del suelo en los Andes Ecuatorianos", MAG-ORSTOM-CEPEIGE. Quito, 92 p.
- **INERHI, 1966-1987.** "Inventario de canales de riego", INERHI, Quito.
- **INERHI, 1972-1988.** "Memorandums técnicos de las agencias regionales de agua", INERHI, Quito.
- **INERHI, 1985.** "Ley de creación del INERHI, Ley de aguas, Reglamentos de la ley de aguas, Reformas a la fecha", INERHI, Quito, 137 p.
- **LE GOULVEN, P., 1986.** "Elaboración del Plan Nacional de Riego, análisis de la situación y concepción general", INERHI, Quito, 22 p, in French and Spanish.
- **LE GOULVEN, P., RUF, T., RIBADENEIRA, H., 1987.** "Méthodologie générale et détail des opérations du projet INERHI-ORSTOM", INERHI, Quito, 91 p, in French and Spanish.
- **POURRUT, P., 1980.** "Estimation de la demande en eau du secteur agricole et des disponibilités pour la satisfaire. Elements de base pour la planification de l'irrigation en Equateur" cah. ORSTOM, série Hydro., vol. XVII, nº 2, pp. 39-65, in French and Spanish.
- **RUF, T., LE GOULVEN, P., 1987.** "L'exploitation des inventaires réalisés en Equateur pour une recherche sur les fonctionnements de l'irrigation". Bul. de liaison no. 12, Dept H, ORSTOM, Paris, pp. 30-47.
- **SUAREZ, E., BERNARD, A., et al. 1987.** "Diagnóstico socio-económico del medio rural ecuatoriano. Producción agrícola, Productividad agrícola, Insumos agrícolas, Calendario agrícola", MAG-ORSTOM, Quito, 4 vol., 1736 p.
- **VERA ALARCON, D., PORTAIS, M., 1979.** "Delimitación de las zonas agrícolas para la programación integrada. 1. Costa, 2. Sierra", MAG-ORSTOM, Quito, 391 p.

Com :
VIIth Afro-Asian Regional Conference
International Commission on Irrigation and
Drainage
ICID, Tokyo, 15-25/10/89, pp 362-371.

TRADITIONAL IRRIGATION IN THE ANDES OF ECUADOR

DYSFUNCTIONS AND REHABILITATION

by P. LE GOULVEN¹, T. RUF², H. RIBADENEIRA³

Abstract

The multidisciplinary team of the franco-Ecuadorean ORSTOM-INERHI project presents a synthesis of various dysfunctions which were identified during the surveys on traditional Andean irrigation areas in northern Ecuador.

The features of the diagnosis are formulated at different levels: relations between watersheds and ZARI (Zone of Analysis and Recommendations for Irrigation); between ZARI and irrigated areas; between irrigated areas and farming systems; between farming systems and crop plots.

It shows that the water shortage may be the result of many combined dysfunctions that have a negative impact on farmers' decisions: they prefer extensive forms of agriculture and therefore obtain low land productivity.

The authors propose as a preliminary task, in order to prepare the National Irrigation Plan, prospects to structure and organize the traditional networks.

¹ ORSTOM Mission, P.O. Box 17.11.6596, Quito, Ecuador

² ORSTOM Mission, P.O. Box 17.11.6596, Quito, Ecuador

³ Plan Nacional de Riego, INERHI, Quito, Ecuador

The first report, *Traditional Irrigation in the Andes of Ecuador, (1) Research and Planning*, showed how an international and multidisciplinary team had built a research methodology to prepare a Traditional Irrigation Development Plan. We emphasized how much this irrigation did not follow the usual standards. The originality of these systems, especially linked to the mountainous topography and history, justifies the research work on what does not function well along the water mobilization and utilization chain at different levels of the ZARI (Zone of Analysis and Recommendations for Irrigation).

From detailed studies of four ZARI that were selected as most representative, Urcuquí, Pifo, Santa Rosa and Guamote, the major features of the diagnosis on the dysfunctions of irrigation in the northern Ecuadorean Andes were formulated and the first channels of improvement of the private networks started to be defined (see Fig. 1. Organization-Type of a ZARI and Location of the Different Problems).

Urcuquí, introduced in the first report, is a ZARI of the dry Mira watershed in the northern Andes; it is made up of approximately 5,000 hectares irrigated by 17 traditional systems. Pifo is located close to the capital Quito. Therefore, this ZARI, with its 2,800 hectares irrigated by 12 traditional systems, evolves under the influence of the urban outskirts. Santa Rosa and Guamote belong to the Pastaza watershed, located in the middle of the country. These ZARI represent totally opposed situations.

- the first, Santa Rosa, is exemplary owing to the high degree of artificialness of the Andean environment (very high population density – 300 inhabitants per square kilometer, 8,000 hectares irrigated by large traditional systems from 30 to 50 kilometers long, irrigated continuous crop systems in farming units of less than one hectare);
- the second, Guamote, is a crisis area, abandoned by its inhabitants, and only the sectors that have irrigation networks (of limited scope) remain populated, even though they are deeply affected by seasonal migrations.

1. SUPPLY DISFUNCTIONS AT THE WATERSHED LEVEL

1.1. Very poor low-water flows, owing to severe drought even in the high-mountain areas

Areas that are potentially irrigable do not have any facilities. In the river watershed, only a dam would allow to increase the supply during the dry season. In certain cases, a transfer from a neighboring watershed that has a supply which exceeds the demand could solve the water shortage problem. These cases are rare. They imply prior legal and political agreements and sometimes high investments if the transfer requires special work (tunnels). This problem goes beyond the limited field of rehabilitation.

1.2. Large but inaccessible flows because the gorges are too narrow, the geomorphology is unfavorable, etc.

As before, the areas suffer from a shortage of water, but this time the farmers see the water pass at a few tens or hundreds of meters beneath their land. In certain cases, a dam to raise the water level could facilitate the installation of facilities or the enlargement of those that already exist.

1.3. Highly variable hydrological rhythms with sudden and destructive overflows

The water intakes are regularly flooded. The irrigated areas are periodically deprived of water. If the damage is considerable, the farmers run the risk of losing part of their crops.

This type of accident (we will see later on that there are many more) becomes even more dramatic if the social organization that manages the system is disorganized.

A modern intake construction program could make the irrigation systems in the aggressive watershed less vulnerable.

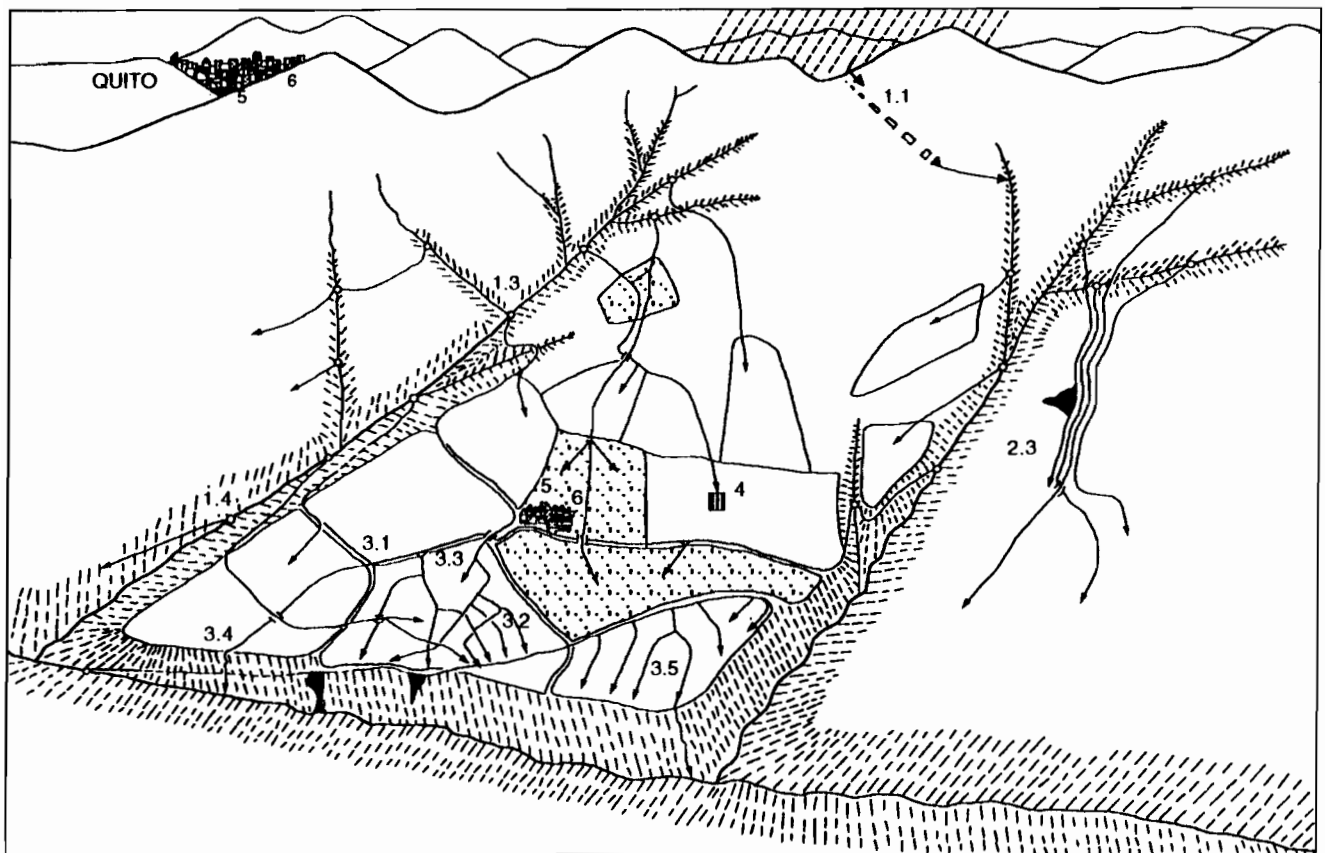


Figure 1 - Scheme of a ZARI with localization of major identified problems

1.4 Drying up of the river downstream from a series of outlets

The areas that are irrigated from downstream intakes systematically run the risk of being short of water. This situation is often the result of a lack of coordination to manage the water resource. It may be accompanied by downstream/upstream conflicts that can go as far as an "intakes war", that is, the alteration and sometimes even the destruction of the facilities.

Solutions to this problem are not easy, because each of the groups involved claims inherited water rights.

In this type of case, it is better to no longer grant any additional concession and to organize a joint effort among the irrigating organizations.

The installation of the intakes and the discharge regulators planned in the concession documents should indeed be carried out with financial and technical support.

2. DEMAND PROBLEMS AT THE INFRASTRUCTURAL LEVEL IN THE ZARI

2.1 Poor average continuous fictive discharge, owing to lack of available water resources in the watersheds that feed the network

This case is a translation of the two first kinds of problems already described concerning the watersheds.

When the watersheds do not function in the same way, it may be useful to restructure the networks combining the supplies of the two watersheds towards the crest of the interflow.

Thus a greater regularity and security of the distributed flows would be obtained.

2.2 Considerable disparity in the distribution of the supply, even taking into account the normal variabilities owing to the altitude

Certain irrigated areas are supplied by a continuous fictive discharge of 2 liters per second per hectare whereas others have only 0.1 or 0.2 liters per second per hectare.

In the landscape this gives a mosaic of highly heterogeneous areas with respect to crop-raising during the dry season.

In the case where the water resource is limited compared to the requirements, it is possible to revise the concessions or, by installing modern intakes, to avoid excessive impoundments of water which would be detrimental to the other systems located downstream.

When the water resource is not limited, an enlargement of the deficient systems could be considered. A poor supply may be due to the deterioration of the canal owing to a lack of maintenance.

For instance, the absence of maintenance to clear the sand from certain parts may, over time, considerably minimize the channel discharge capacity and reduce even more the water supply of this or that system.

2.3. Too high canal density, which makes it very difficult to maintain all the systems and provides linear or punctual losses, whether of natural or social origins (theft, conflicts)

One solution would consist of simplifying the network especially when the canals run along parallel lines.

Moreover, in this type of situation, chain accidents occur when the upper canal breaks following an overflow or a mudslide.

The weakest areas should be reinforced by means of special works and protected from streaming if the latter produces dangerous overflows.

Protection against erosion and soil accumulation in the canal can be improved by planting thick hedges above the canal segments in question.

Finally, we have observed that certain sectors are very difficult to reach. Their maintenance would be facilitated if accessways and maintenance roads were built.

3. DYSFUNCTIONS IN THE DISTRIBUTION IN THE ZARI

3.1. Absence of a rotational working, as a consequence of which there is an unequal distribution among the upstream and downstream users on the distributors

This lack of rules and regulations to share the water resource occurs in four kinds of cases:

- the number of users is low and water distribution is decided upon from day to day according to the needs of each user; over time and with the parceling of the land, the number of users increases and the first difficulties arise;

- the users have just acquired a concession over the canal, for example, when haciendas are divided into lots and sold, and they do not know how or are unable to get organized to set up a rotational system;
- the users were organized to set up a rotational turn distribution, but because agriculture is no longer a prime activity, the rules have been more or less ignored;
- the users are organized but their number is so large –and their conflicts so intense– that the rotational system does not operate well; the planned schedules are not adhered to, the accumulation of delays leads to irrigation cuts.

3.2. Very long transport time in the distributors which sometimes consist of a veritable maze of intermeshed water courses

The distribution systems can be explained by the history of transfers of water rights and the sales of user time for the various distributors.

Its efficiency is poor insofar as the water does not always run from one plot of land to the next but rather follows the order established by water rights.

A reorganization of the rotational working would be desirable, although this is generally hard to accept by the users who are accustomed to certain irrigation schedules, especially when this requires that the irrigation take place during night hours.

The distribution could be modernized by installing a permanent module for each sector which would be managed by the respective group of farmers.

To ensure a minimum of fairness in the distribution from a given module, it would seem that the safest method of distribution would be the one that delivers the module first to the last user of the distributor and then the outlets would be open from plot to plot until it reaches the first user (this already exists in certain systems).

Sometimes the distribution works on an alternating basis, so that the last user of the water schedule would become the first for the following irrigation and vice-versa.

3.3. Considerable irregularity of the modules delivered from one irrigation to another, owing at the same time to the abovementioned dysfunctions in the watersheds and the facilities, but also owing to the fact that the generally rustic dividing junctions do not always distribute the discharge that come to them in the same way

In reality, the problem is not so much the distribution of water among users but rather the distribution, when it does exist, of the water shortage in the fairest way possible to the users.

Providing the networks that suffer from a considerable flow disparity with proportional outlets seems quite attractive.

3.4. Considerable losses during the night when the farmers do not use night irrigation or put it into practice carelessly and when there are no tanks

Night irrigation on steep slopes is always difficult to manage. During the night water theft is most frequent, and it is at this time that it is most difficult to reestablish the normal discharge.

The installation of a tank with a capacity that corresponds to the night stock would be an invaluable aid for managing the traditional systems. Such programs already exist, but without a systematic modernization of equipment in an entire ZARI.

In the absence of a tank, there are several solutions available to distribute the night hours to all the users.

The night hours can be assigned on an alternating basis each year. This solution, which seems equitable, hardly modifies the night losses; it only obliges everyone to share the unfavorable conditions every other year.

The frequency of the water shift can also be modified, adopting a period based on an incomplete number of days. For example, instead of seven days, the period could be six days and a half, with one day of service interruption after two periods or two days every four periods for carrying out network maintenance. Thus, each farmer irrigates on an alternating basis during the day and at night during the whole year.

This arrangement can be refined even further by using a period of six days and three fourths, which would lead the users to set back their irrigation schedule six hours from one shift to another and to limit the service interruption for maintenance purposes to only one day every four weeks.

Such changes are hard to effect for they upset habits and interests that have been well established over a long time. But if these changes are thoroughly explained and if they are able to convince the users as a whole, it is possible to considerably improve irrigation conditions both fairly and safely.

3.5. Frequency of irrigation that is poorly suited or inappropriate for intensifying agricultural production systems

There are areas where the rotational turn takes place over a period of 15, 16, 17, or even 21 days, which virtually prohibits the farmers from choosing crops that demand a great deal of water, during dry seasons when requirements are very high.

It must be emphasized that the usable soil reserves are often poor; the Andean soils contain a high proportion of sand, to such an extent that certain irrigated soils are deemed unsuitable for irrigation in the international manuals. One frequently finds easily usable reserves on the order of 30 mm, which requires an irrigation frequency of about 7 days and not 14 or 21 days.

It is not an easy task to manage this problem for it is generally linked to a considerable disequilibrium between supply and demand.

So that each user can enjoy the privilege of a decent dosage of irrigation, taking into account the time consumed in transfers, the rotational turn should have to be prolonged, but the longer it is the less useful is the irrigation.

Moreover, the risk of having the irrigation withheld is undesirable, as it would mean that the crop under cultivation would have to wait one month or more without any artificial supply. The peasants can only then rely on a redeeming storm, which is paradoxically when one knows that an irrigation infrastructure does exist.

Shortening the frequency would imply significantly increasing the supply.

4. APPLICATION DYSFUNCTIONS AT THE SMALL PLOT LEVEL

4.1. Unsuitable module

- A module that is sometimes too weak (lower than 5 liters per second), which implies, on the one hand, very long irrigation times by hectare (up to 24 hours or more) and, on the other hand, application difficulties with respect to the arrangement of the furrows: the former sectors end up by being over-irrigated whereas the latter are under-irrigated.

- A module that is sometimes too strong (more than 20 liters per second), which produces erosion because there is no way to control the volume of water that keeps coming into the plot of land. Only by creating buffer tanks would it be possible for the irrigators to select a module that is suitable for their soil, work, and rotational system limitations.

4.2. A poorly performing irrigation arrangement

- In certain cases, the irrigator merely "throws" water over the upper part of the plot without ever directing it. The water follows the micro-thalwegs and ends up generally by going out of the plot until the irrigator returns.
- In other cases, the irrigator does not optimize the distribution of water: in accordance with the module he has at his disposal and his soil characteristics, he can take advantage of the length of the furrows and work time to correctly distribute the amount of water that reaches the totality of the plot.

It is obvious that the users do generally lack appropriate technical advice and the necessary technical know-how to improve the application.

To explain the water shortage that the irrigators complain about, there is also the fact that they all waste water in their fields.

The promotion of small experimental stations managed by the irrigator associations with technical support would allow for a better rationalization of the applications.

5. PRODUCTION SYSTEM FUNCTIONING PROBLEMS AT THE AGRICULTURAL DEVELOPMENT LEVEL

In addition to the eventual limitations linked to the shortage of water, there are a series of socioeconomic and technical problems that the farmers take into account when they choose their productions and implement agricultural techniques: lack of capital, credit, equipment, labor force; uncertain marketing outlets; lack of organization and market control.

Other factors lead to various difficulties: extreme parceling of the plots in certain irrigated areas, which makes the distribution all the more complex.

In such conditions, water usage proves to be extensive and is sometimes limited to irrigating natural prairies in order to maintain cattle whose main function will be economic: it will allow the farmer to rely on saving in an uncertain economic environment.

With this respect, it is quite curious to note that in Ecuador there is virtually no stocking of fodder neither among the peasants nor in the haciendas.

These aspects of farm management lie outside INERHI's traditional field of intervention.

Nevertheless, they must be taken into account as a part of the planning.

For example, it would be meaningless to rehabilitate the network in a ZARI which has been abandoned by its inhabitants who have gone to work in the city.

6. DIFFICULTIES EXPERIENCED BY THE IRRIGATING ORGANIZATIONS IN THEIR INNER AND EXTERNAL RELATIONSHIPS

We are at present witnessing a multiplication and atomization of the irrigators' associations which have very severe repercussions on the management of the irrigation systems as a whole: the functions of "water police" and works maintenance are endangered by recurrent conflicts.

External interventions, whether they are public or private, affect only limited groups and do not take into account all the users and systems as a whole.

These phenomena are quite serious, for the maintenance of traditional networks largely rests on a very strong social cohesiveness among the users.

If some of the groups find themselves affected by thefts of water, without any specific improvements, they will tend to refuse to participate in the collective works that aim at maintaining the canals. The conflicts could go so far as sabotaging the work then proceed to direct confrontations.

On the short and medium term, such an evolution could only culminate in an agricultural recession, the risk of running short of water leading the involved farmers to choose even more extensive production systems.

On the medium and long term, the major risk lies in the disappearance of certain systems because of a lack of regular maintenance.

In order to prevent such an evolution, it would seem appropriate to propose from outside some global rehabilitation projects on a ZARI as a whole and probably to reinforce the role played by the irrigator associations by organizing them in a federation so that they will become partners in the rehabilitation projects.

CONCLUSION

The franco-Ecuadorean team started first by identifying the many problems that are involved in, and explain to a large extent, the poor performances of traditional irrigation systems and then will carry out an in-depth survey of each problem area and attempt to provide data on the impact of the various dysfunctions that have been identified.

In a second phase, the team will set up a network improvement plan adapted to each type of ZARI, which should give maximum efficiency to the public financial assistance that is being provided for modernizing the Andean irrigation systems.

REFERENCES

- **AGUIRRE, R. A., 1987.** "Problemas de riego en Ecuador y posibles soluciones", Universidad Nacional de Loja, Loja, 295 p.
- **CISNEROS, I., 1987.** "Guanguilqui, el agua para los runas", in rev. DEBATE, nº 14, nov., Quito, pp 161-182.
- **DARREGERT, B., 1982.** "Estudio de los sistemas tradicionales de riego en Centro Loja-Ecuador", CATER, Loja, 46 p.
- **GRILLO, É. et al., 1988.** "Agua y agricultura andina, CAME, Lima, 122 p.
- **MONCAYO, L. B., 1987.** "Riego en Tungurahua", in rev. DEBATE, nº 14, nov., Quito, pp 141-150.
- **MOTHES, P., 1986.** "Pimampiro's canal: adaptation and infrastructure in northern Ecuador", Texas Univ., Mast. tes., 200 p.
- **MOTHES, P., 1987.** "La acequia del pueblo de Pimampiro: riego tradicional en el Norte del Ecuador", in rev. DEBATE, nº 14, nov., Quito, pp 69-86.
- **RUF, T., RIBADENEIRA, H., 1987.** "Selección de microcuencas representativas en la Sierra", ORSTOM-INERHI, Quito, doc. prov., 30 p, 60 an.
- **SNV, CESA, CAAP, 1988.** Seminario andino de riego parcelario, Riobamba, Ecuador, 4-9 de julio de 1988, SNV-CESA-CAAP, Quito, 133 p.

Com :
Séminaire "Manejo del agua y adecuación de tecnologías en la región andina"
Consejo Nacional de Ciencias y Tecnologías
CONCYTEC, Cajamarca (Pérou), 20-27/01/90

PRINCIPAUX PROBLÈMES DU DIAGNOSTIC DES RÉSEAUX TRADITIONNELS D'IRRIGATION DANS LES ANDES DE L'ÉQUATEUR

*Aspects agro-socio-économiques liés
au diagnostic régional*

par T. RUF*, P. LE GOULVEN**, H. RIBADENEIRA***

* Agro-économiste, Mission ORSTOM, Apartado 17.11.06596, Quito - Équateur
** Hydrologue, Mission ORSTOM, Apartado 17.11.06596, Quito - Équateur
*** Directeur du Plan National d'Irrigation, INERHI, Juan Larrea 534, Quito - Équateur

Les réseaux d'irrigation « traditionnels » ou « anciens » posent des problèmes spécifiques dans le diagnostic de leur fonctionnement. La plupart du temps, les responsables des instituts techniques chargés de mener des politiques nationales d'irrigation considèrent les réseaux traditionnels comme des vestiges du passé qui ne peuvent faire l'objet d'amélioration ; ils apparaissent à première vue comme complexes, « anarchiques », ne répondant pas aux normes techniques « logiques » habituelles des réseaux modernes.

Les créateurs d'ouvrages modernes maîtrisent la partie conceptuelle des infrastructures et le génie civil pour les mettre en place ; ils rencontrent souvent d'énormes difficultés lors de la mise en eau, l'usage qu'en font les bénéficiaires différant des modèles prévus dans les études de faisabilité. Pour les réseaux anciens, non seulement la distribution et l'utilisation de l'eau ne sont guère limpides, mais encore la mobilisation, le transport et la répartition entre divers groupes d'usagers ne sont jamais évidents à mettre à jour.

C'est pourquoi il est rare de voir les institutions nationales d'irrigation se lancer dans des programmes cohérents de réhabilitation de réseaux traditionnels, faute de méthode de diagnostic et probablement aussi faute de volonté politique (la construction d'un canal moderne apporte plus de notoriété que la réparation d'un canal ancien).

Les éléments qui suivent se basent sur l'expérience acquise par le projet ORSTOM-INERHI en Équateur : l'étude du fonctionnement des réseaux traditionnels en Équateur est menée conjointement par le département du Plan National d'Irrigation de l'INERHI dirigé par Hugo RIBADENEIRA et deux départements de l'ORSTOM, celui des Eaux Continentales (DEC) avec Patrick LE GOULVEN, hydrologue et Directeur International du Projet, et le département Société Urbanisation Développement (SUD) auquel appartient Thierry RUF en tant qu'agro-économiste. Jean-Luc SABATIER (IRAT-CIRAD) a appuyé le projet par des missions et fournit de nombreux éclairages.

1. QU'EST-CE QU'UN RÉSEAU D'IRRIGATION ANCIEN ?

Définir l'objet d'étude montre la difficulté de l'étudier. Le « réseau d'irrigation » est un ensemble de prises d'eau, de canaux de transport et de distribution, de périmètres agricoles formant un système complexe artificialisé, mettant en jeu dans son fonctionnement (voir schéma 1) :

1. la mobilisation des ressources hydriques ;
2. le transfert vers des lieux de stockage et d'utilisation ;
3. la répartition des dotations entre divers espaces agraires ;
4. la distribution interne entre usagers dans chacun de ces espaces ;
5. l'application de l'eau sur les parcelles ;
6. l'évolution des systèmes de production avec l'irrigation ;
7. la maintenance de l'ensemble.

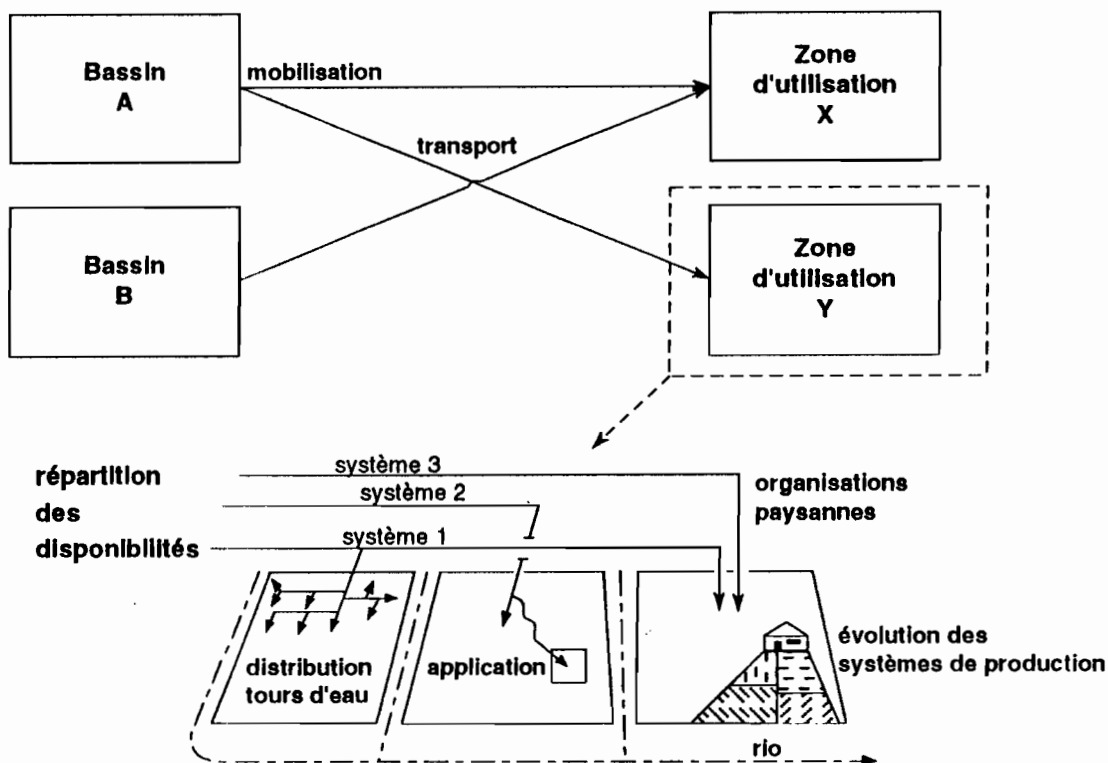
Le diagnostic doit donc intégrer tous ces aspects qui s'analysent à diverses échelles :

1. l'unité de l'offre en eau : le bassin versant ;
2. l'unité de demande en eau : espace géographique très variable selon les aménagements ayant été réalisés ;
3. le périmètre, espace agraire de base du réseau, caractérisé par le milieu naturel (étage bioclimatique, sols) et le milieu socio-économique (société et agriculture) ;
4. l'unité de production agricole, structure de base des décisions ;
5. les champs et parcelles cultivés et les élevages dans l'unité de production.

Il fait donc appel à plusieurs disciplines — parmi lesquelles l'hydrologie, l'agronomie et la socio-économie — qui doivent y travailler en étroite coordination.

Dans le cas des réseaux d'irrigation « traditionnels » ou « anciens », les infrastructures techniques sont rustiques, par opposition aux canaux modernes en béton, mais cette rusticité n'est pas la seule caractéristique ; le système, complexe, a une histoire qui s'est inscrite dans les divers niveaux de fonctionnement actuel. Le diagnostic doit porter sur les évolutions, les changements, les dynamiques.

Schéma 1
Localisation des problèmes du diagnostic



La notion d'« ancienneté » est subjective. Pour les réseaux andins équatoriens, la référence n'est pas liée à une époque donnée mais plutôt à une technique de construction de canaux déviant sur de longues distances le cours torrentiel des rivières, et mobilisant sous des formes sociales vallées, une force de travail considérable. Ainsi, un réseau « traditionnel » peut avoir plusieurs siècles d'existence dans certains cas, ou seulement dater de la première moitié du XX^e siècle.

2. OÙ SE TROUVENT LES RÉSEAUX D'IRRIGATION ANCIENS ?

Question simple et réponse difficile. En effet, les sources d'information sont souvent disparates et incomplètes. En Équateur, l'INERHI disposait d'un inventaire de prises d'eau sans connaître toujours les destinations ; le Programme National de Régionalisation Agraire (PRONAREG) du Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage (MAG) connaissait les grandes zones influencées par l'irrigation mais sans précisions sur les réseaux. Or, la connaissance rigoureuse, actualisée, de la géographie de l'irrigation est fondamentale : la réhabilitation isolée d'un canal au sein d'un système régional plus vaste peut aboutir à une catastrophe, du fait des dépendances entre réseaux, comme par exemple l'impact sur l'aval d'une prise d'eau dans une rivière à débit variable et limité.

La méthode d'inventaire a été construite non pas sur la base de normes internationales sur l'organisation de réseaux, mais à partir de l'analyse des premiers cas observés dans les Andes (zones de Pifo et d'Urququí). Chaque partenaire du projet a contribué à l'élaboration de la méthode (P. Le Goulven, hydrologue, E. Dattée, topographe-informaticien, W. Carrera, Ingénieur civil, M. Montenegro, agronome, E. Gavilanes, photo-interprète, et T. Ruf, agro-économiste). Elle a d'ailleurs évolué en fonction des connaissances nouvelles acquises dans l'étude de zones pilotes, et au fur et à mesure de la construction de la base de données informatisée. Pour résumer ce travail qui mobilise une dizaine de personnes de l'INERHI, voici les étapes successives :

- synthèse des informations existantes et création de la première carte de travail au 1/50 000 ;

- amélioration de la carte par réinterprétation des photos aériennes du PRONAREG (MAG) ;
- mission sur le terrain de confirmation et d'actualisation ;
- structuration des données descriptives en vue de leur incorporation dans la base de données (D BASE III) ;
- dessin de la carte améliorée et actualisée ;
- nouvelle mission de terrain pour réaliser une enquête rapide et systématique sur les systèmes techniques et sociaux de répartition et d'utilisation de l'eau et sur les systèmes de production actuels ;
- incorporation de ces données dans la base ;
- dessin de la version finale de la carte d'inventaire avec légende présentant les informations principales de chaque système d'irrigation ;
- édition de synthèse régionale (tableau de bord de l'irrigation par grand bassin hydrographique).

Cette méthode, brièvement abordée ici, se base sur deux aspects originaux liés au caractère montagnard des réseaux d'irrigation.

D'une part, il y a une double structuration spatiale correspondant aux unités d'offre et de demande en eau. Un système d'irrigation est lié au bassin versant de la rivière dans laquelle il prélève de l'eau par un ouvrage de prise. Il est également partie intégrante de l'espace où est consommé l'eau prélevée par de multiples systèmes dans le même bassin ou dans d'autres bassins. Cet espace de la demande, appelé Zone d'Analyse et de Recommandations pour l'Irrigation (ZARI), peut être défini comme « l'unité géographique qui contient dans ses limites les prises, les canaux et les périmètres correspondants », ou encore, « l'unité spatiale de la mobilisation, du transport, de la répartition et de l'utilisation de l'eau d'irrigation ». Dans les cas simples, la ZARI correspond à l'interfluve dont l'alimentation en eau provient de deux bassins à travers un réseau enchevêtré de canaux (schéma 2).

D'autre part, il y a le principe de description des réseaux complexes mis au point par P. Le Goulven. Les réseaux sont définis par des prises, des segments, des nœuds et des périmètres. On évite la terminologie classique de canal principal, secondaire, tertiaire, etc. On emploie les termes de « segments d'apport » reliant une prise à un nœud de division ou d'union, de « segments de transport » reliant par exemple un nœud d'union à un nœud de division, et de « segments de distribution » reliant un nœud de division à un périmètre final (schéma 3). Cela permet de codifier l'infrastructure sur des bases logiques et réelles.

3. QUELS SONT LES PROBLÈMES DE FONCTIONNEMENT DES RÉSEAUX D'IRRIGATION ANCIENS ?

Divisons la question sous l'angle des 7 niveaux de fonctionnement signalés dans la définition initiale .

3.1. Les problèmes de la mobilisation de l'eau

Ils relèvent des travaux d'hydrologie sur les bassins versants afin de connaître, mois par mois, la ressource disponible et de la confronter avec la demande perçue selon trois approches :

- la demande climatique générale (ETP-P) ;
- la demande légale des réseaux (débits concédés) ;
- la demande théorique des périmètres en fonction des systèmes de cultures en place ou de systèmes de cultures alternatifs.

L'agro-économiste doit fournir des modèles de culture type sur la base d'enquêtes sur les systèmes de production. Sa tâche est rendue complexe par la grande diversité des agricultures pratiquées dans les Andes, liée à la fois à celle du milieu physique comme à celle des situations socio-économiques.

Schéma 2
Notion de micro-bassins et ZARI

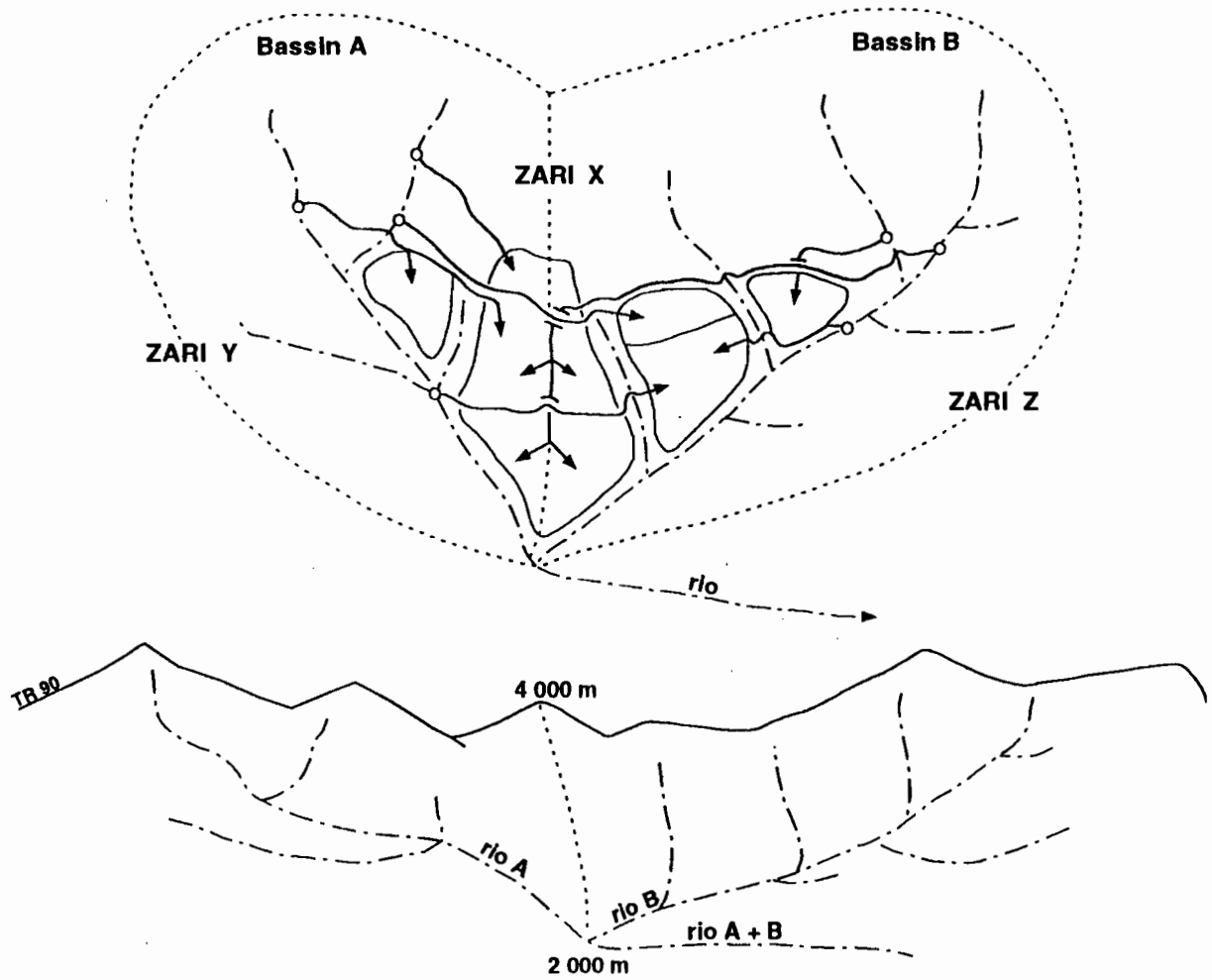
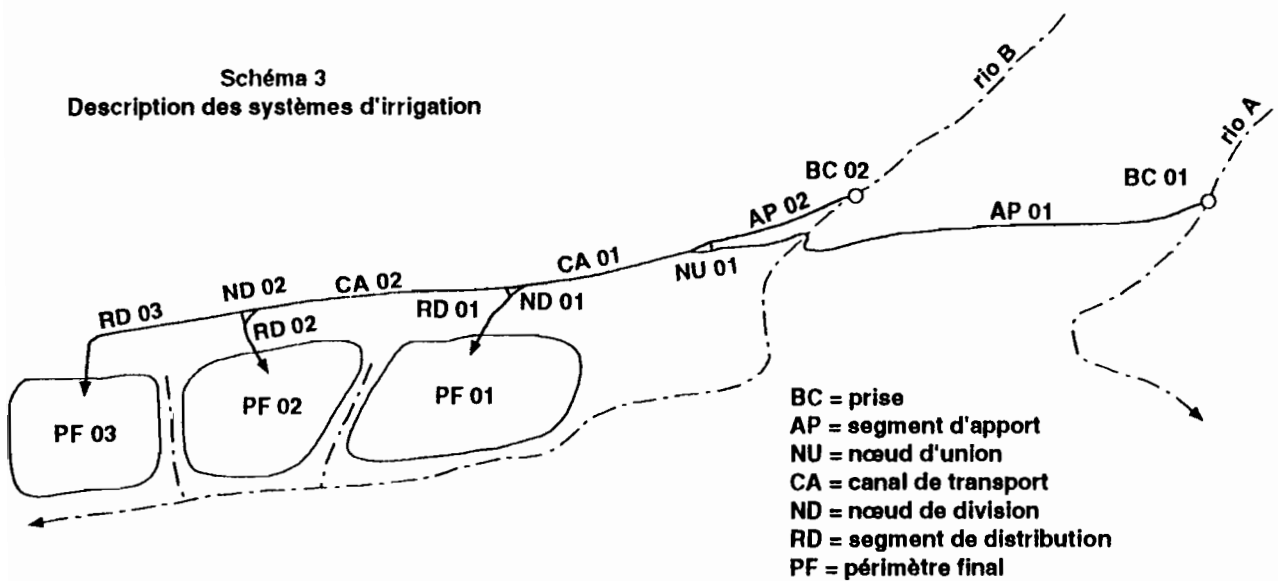


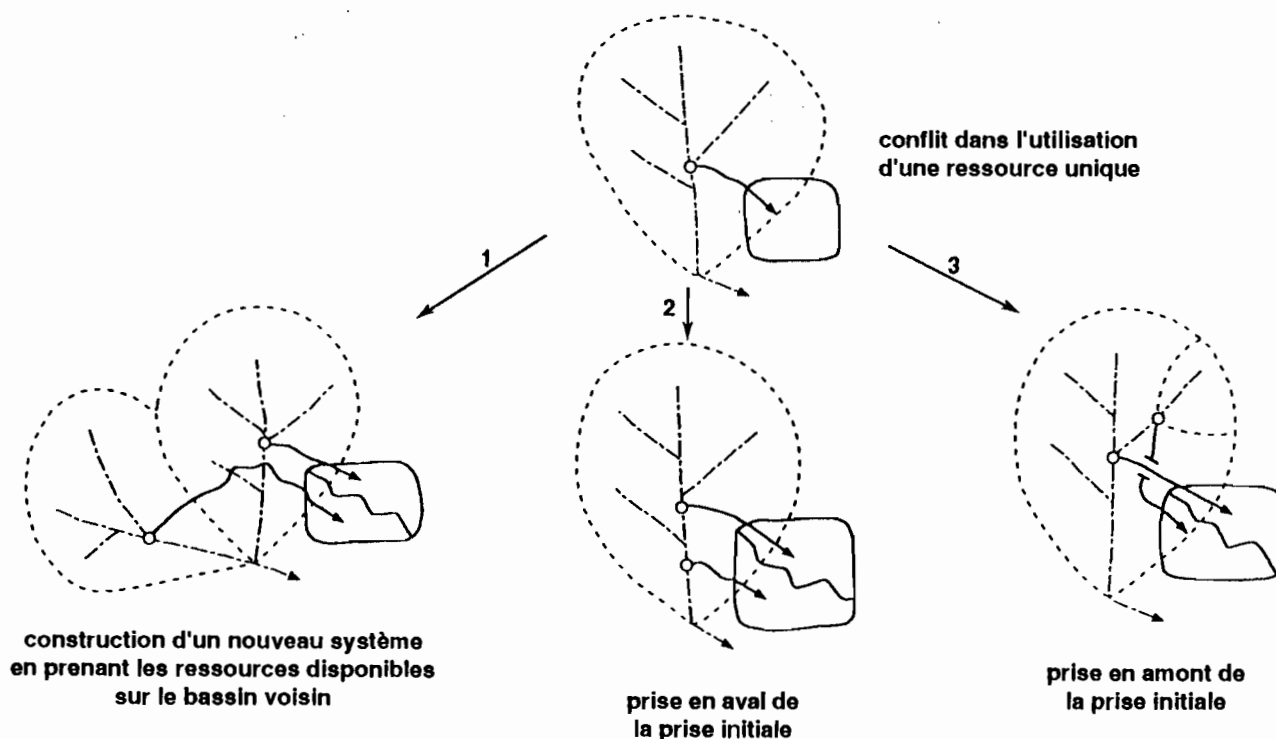
Schéma 3
Description des systèmes d'irrigation



La structure complexe des réseaux témoigne des efforts de recherche de ressources hydriques par les diverses parties prenantes au cours de l'histoire. Même si l'État a nationalisé les eaux en 1972, sur le terrain, les groupes d'irrigants gardent toujours à l'esprit non seulement l'idée de propriété d'un canal dont ils ont hérité, mais surtout leurs droits sur une rivière en un point donné, c'est-à-dire l'appropriation d'une ressource hydrique venant du « páramo » (prairies de haute altitude) considérée comme inaliénable parce qu'elle est ancestrale. Ainsi, l'expansion foncière coloniale, aux XVI^e et XVII^e siècles, a porté aussi bien sur les zones basses de climat tempéré ou sub-tropical à saisons sèches marquées, que sur les grandes étendues de haute montagne, afin de s'adjuger les débits disponibles et irriguer les terres basses. Les conflits nés dans l'utilisation des ressources disponibles dans le réseau existant se résolurent par l'établissement de nouveaux canaux, selon trois schémas (schéma 4) :

- captage d'une ressource non exploitée dans un bassin voisin ;
- captage en aval des systèmes existants si la ressource est accrue par d'autres affluents ;
- captage en amont des systèmes existants, ce qui pourrait avoir des conséquences sur ces systèmes et générer un conflit de mobilisation de l'eau au niveau des prises.

Schéma 4
Évolution d'un conflit et création de nouveaux systèmes



3.2. Les problèmes de transfert

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 serait faible. En conséquence, la réhabilitation, lorsqu'elle est envisagée, porte sur le revêtement des canaux en béton ou autres matériaux, dont le coût est très élevé. Les premiers éléments du diagnostic de P. Le Goulven remettent en cause certaines idées sur l'efficacité des canaux en terre dans le nord des Andes équatoriennes. Il arrive de rencontrer des efficacités de transport supérieures à 100 %. Il semble que des apports latéraux compensent les pertes linéaires. Dans ces conditions, le revêtement du canal n'apporterait pas d'avantage majeur. D'ailleurs, des observations réalisées sur de nombreux systèmes montrent que les pertes sont surtout dues aux fuites ponctuelles liées à l'état de l'infrastructure et parfois aux infiltrations dans un segment limité de canal.

Dans certaines régions, le problème essentiel de transfert de l'eau réside dans les nombreuses interruptions de service liées aux éboulements provenant de secteurs dominant le canal, ou encore aux effondrements du canal lui-même. Ce phénomène a des répercussions graves sur l'utilisation de l'eau. C'est l'un des éléments qui compose le « risque de période sans eau » évalué par les paysans pour prendre leurs décisions. Par rapport au risque pluviométrique en culture sèche, le risque de manque d'eau d'irrigation à un moment donné résulte à la fois des aléas climatiques dans la zone de production (le haut bassin versant), des phénomènes agressifs sur les segments de transport, et de décisions humaines mettant en péril les transferts normaux : absence de régulation en cas d'accroissement brutal du débit de la rivière, surcharge du canal qui finit par céder, ou encore mise en culture de terrain pentu au-dessus du canal avec forts risques érosifs. Cette dernière cause provient de la montée de la frontière agricole en altitude et sur les terrains marginaux, en relation avec la pression démographique, la réforme agraire, la mise à l'écart des anciens ouvriers agricoles des haciendas, ou encore le partage des terres communales. Cependant, la cause première de ces interruptions de service doit être reliée aux problèmes d'organisation de la maintenance des réseaux abordés au point 3.7.

3.3. Le problème de l'équité de la répartition des ressources mobilisées

L'eau disponible est-elle répartie de manière équitable dans une ZARI ? La question mérite d'être posée connaissant les éléments suivants :

- la construction de la plupart des réseaux a été décidée, jusqu'au début du XX^e siècle, par les grands propriétaires fonciers en mobilisant la main d'œuvre paysanne à peu de frais ;
- la restructuration foncière des années 1950-1980 a maintenu la grande propriété foncière sur les terres basses et irriguées, rejetant les paysans sur les pentes difficiles à cultiver ;
- la nationalisation des eaux par l'État et leur administration par l'INERHI depuis 1972 devait résoudre les nombreux conflits qui éclataient avec violence ; le système des concessions octroyées par l'INERHI pour dix années aux usagers devant en faire obligatoirement la demande, devait permettre de faire régner une certaine équité dans les dotations.

Si on se réfère à la situation du bassin du Mira dans le nord du pays, les dotations en eau exprimées par les débits fictifs continus (litres/seconde/hectare) 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 bioclimatique. Alors, le jugement sur l'équité de la dotation générale entre périmètres prend un sens (tableau 1).

étages bio-climatiques	faible dotation	dotation moyenne	forte dotation
étage froid 2 700 - 3 300 m	1 500 ha 0,1 l/s/ha	2 200 ha 0,25 l/s/ha	2 100 ha 0,4 l/s/ha
étage tempéré 2 200 - 2 700 m	5 000 ha 0,2 l/s/ha	5 200 ha 0,45 l/s/ha	3 800 ha 0,7 l/s/ha
étage chaud 1 500 - 2 200 m	3 000 ha 0,3 l/s/ha	2 900 ha 0,6 l/s/ha	3 100 ha 1,0 l/s/ha

Tableau 1
Débits fictifs continus observés sur environ 200 périmètres du Mira
(débit mesuré sur superficie réellement irriguée)

En moyenne, sur chaque étage, les différences vont du simple au triple. Cette première approche devra être approfondie par le calcul des bilans hydriques de P. Le Goulven.

Cette inégalité en dotation peut s'expliquer par le fait qu'un certain nombre d'usagers cherchent à surdoter (dans les concessions) leurs secteurs dans un rapport qui reste raisonnable, 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 manœuvre confortable dans l'utilisation : on peut pratiquer des irrigations approximatives sans effort d'aménagement à la parcelle, 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. Il existe des haciendas faiblement dotées et des zones paysannes apparemment bien approvisionnées. D'ailleurs, les conflits sur l'eau ne mettent pas seulement en scène les groupements paysans contre les haciendas. On voit fréquemment les *hacendados* se quereller pour l'eau, et les innombrables procès pour « *despojo de aguas* » (« dépeuplement des eaux ») existant dès le XVII^e siècle témoignent d'une grande tradition en la matière. Certains secteurs paysans ont donc réussi à s'approprier l'eau d'irrigation en quantité globalement satisfaisante, parfois au prix de luttes difficiles et longues comme à Urcuquí.

D'une manière générale, le processus historique de constitution des réseaux d'irrigation, en l'absence de toute autorité politique et technique (jusqu'en 1972) pour coordonner et harmoniser l'extension des réseaux, a abouti à ces inégalités — secteurs sans eau, secteurs avec faible apport, secteurs avec dotation moyenne et secteurs bien dotés — que l'INERHI n'a guère pu modifier à travers le système des concessions publiques. En réalité, l'action de l'État s'est concentrée sur la construction de réseaux modernes qui s'ajoutent aux anciens. C'est l'ultime maillon d'une longue chaîne d'aménagements superposés et concurrents par bien des aspects.

3.4. Les problèmes de la répartition de l'eau entre paysans d'un même périmètre

En Équateur, presque tous les cas de figure semblent exister. 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 à 50 litres/seconde, temps d'irrigation à l'hectare de 2 à 48 heures, fréquence de 3 à 30 jours, répartition par horaires fixes ou variables, etc. Là encore, l'élément historique est fondamental. Le tour d'eau est l'héritage complexifié du choix des générations précédentes d'usagers, basé sur les nécessités de l'époque de sa conception et sur des règles sociales en vigueur à l'époque. Or, les conditions de l'environnement socio-économique et probablement celles du climat ont évolué, de même que les systèmes de production agricole. Dans certains 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 la ressource entre les usagers d'amont et d'aval. Si celle-ci est excédentaire, le problème n'est pas majeur, l'eau parvenant toujours aux derniers usagers, mais si elle se réduit, ou que le nombre d'usagers croît et que la superficie mise en culture en saison sèche augmente, il devient un centre de préoccupations.

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. À notre connaissance, le premier tour d'eau organisé en Équateur l'a été en 1661 dans la vallée d'Ambuquí (bassin du Mira) à la suite d'un conflit entre indiens et colons, ces derniers ayant tenté de déposséder les premiers de leurs droits d'eau. La justice coloniale a figé les droits des uns et des autres dans un tour d'eau hebdomadaire. Cependant, ce cas reste exceptionnel, lié à un type d'agriculture quasi oasisien (vergers de coca où l'on cultivait du coton et des légumes). Pour l'ensemble des Andes, la période d'organisation des tours d'eau se situe de la fin du XIX^e siècle jusqu'au milieu du XX^e siècle. C'est donc en Équateur 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'irriguants est la province de Tungurahua située à 150 km 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 d'« eaux achetées » (*aguas compradas*), les associations se sont constituées au moment de la construction des canaux. Leurs membres ont acheté des parts qui leur conféraient 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. Il s'agissait essentiellement de sécuriser la production vivrière obtenue à partir des cultures pluviales (cycles d'octobre-avril). Ce n'est que dans la seconde partie du XX^e siècle que les systèmes ont évolué vers une utilisation permanente de la terre, avec la disparition de la jachère (*barbecho*), soit par le passage à des systèmes d'élevage sur prairies naturelles ou cultivées, soit par l'intensification des cultures annuelles aboutissant à des modèles de cultures continues (deux cultures par an ou trois cultures tous les deux ans). La tension sur l'eau s'est donc 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 aigadiers doivent faire face à des dérèglements et des conflits qu'ils tentent d'arbitrer au jour le jour. Le problème s'aggrave avec l'accroissement du nombre d'irriguants. Ainsi, dans la province du Tungurahua, les associations d'irriguants comprennent fréquemment plus de 1 000 membres répartis dans plusieurs paroisses traversées par de multiples conflits de toute sorte. La cinétique de la microparcélisation des terres et des droits d'eau explique une part des difficultés des juntas de l'eau : le nombre de parcelles unitaires double tous les quinze ans. 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 irriguants 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 ayants 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 augmentaient le besoin le justifiant 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. Il faut noter que 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 adaptée à chaque situation.

Enfin, bien que nous ne disposions pas de données précises sur le domaine, il faut signaler la faible efficacité du réseau de distribution de type descendant dans la plupart des cas, avec des temps de transport et des pertes notables entre parcelles. La distribution ascendante n'existe pratiquement pas, alors qu'elle permet une gestion bien meilleure des passages d'une parcelle à la suivante (temps d'irrigation complet). Les pertes en eau sont considérables quand il n'existe pas de réservoirs pour stocker l'eau la nuit.

3.5. Les problèmes de l'application à la parcelle

Les dispositifs d'épandage de l'eau sont généralement gravitaires. Seules quelques haciendas modernisées ont adopté l'aspersion avec des pivots géants.

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 zigzag 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 peuvent 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 40 %. Une recherche approfondie sur ce thème est prévue pour 1990-1991.

3.6. L'évolution des systèmes de production et la productivité agricole actuelle

À titre d'exemple, voici la synthèse des changements intervenus dans l'étage tempéré du bassin du Mira. Un exposé systématique de tous les cas serait fastidieux. Cet étage est d'ailleurs le plus représenté dans les systèmes d'irrigation du bassin, avec plus de 12 000 ha.

Nous analyserons successivement les évolutions depuis les années 1950 pour les quatre grands groupes fonciers : les haciendas, les *fincas*, les petites exploitations paysannes et les *minifundios*. Bien entendu, il y a des exceptions dans ces trajectoires générales.

Les **haciendas** (plus de 50 ha) se consacraient autrefois à la grande céréaliculture utilisant beaucoup de main d'œuvre sous le statut de *huasipungueros*. Elles ont évolué vers des systèmes d'élevage extensif sur prairies pas toujours irriguées en totalité quand les disponibilités en eau n'ont pas changé. La charge en bétail varie de 0,5 à 1 unité animale par hectare fourrager. L'exploitation fonctionne avec peu de main d'œuvre (8 à 15 ha par travailleur). La productivité, exprimée en litres de lait produits par hectare fourrager, est faible : 1 500 à 3 000. L'irrigation n'a pas entraîné un accroissement de la productivité agricole. Elle sert à maintenir un chargement animal faible tout le long de l'année à bas coût et sans mobilisation de main d'œuvre. Ce modèle fournit un produit brut de 300 à 400 dollars par hectare pour des coûts directs de 100 dollars par hectare.

Les **fincas** (5-50 ha) ont mis au point un système de polyculture-élevage intensif, basé sur une rotation agricole de six années où la luzerne alterne avec trois années de cultures annuelles. L'association agriculture-élevage est forte : les fonctions de traction animale, de fertilisation et d'épargne de l'élevage bovin sont primordiales. Le système fonctionne avec une force de travail mixte, familiale et extérieure, qui est nettement plus importante que dans les haciendas (3 à 5 ha par travailleur). La combinaison des moyens disponibles, le taux d'usage du sol élevé, la bonne dotation en eau et la maîtrise de l'application, la recherche de semences améliorées, la fertilisation raisonnée, organique et minérale, le contrôle phytosanitaire, permettent d'atteindre un haut degré de chargement animal (supérieur à 2 unités animales par hectare fourrager) et par là même une productivité très supérieure à la moyenne des haciendas : 5 000 à 6 000 litres de lait par hectare fourrager. Le produit brut dégagé par le modèle est voisin de 1 000 dollars pour des charges directes importantes de 400 dollars par hectare.

Les **petites exploitations paysannes** (1-5 ha) dont la stratégie est toujours d'assurer la base alimentaire familiale, ont également des besoins monétaires pour couvrir les frais d'exploitation et les charges familiales habituelles. À la culture pluviale qui garantit l'alimentation — le maïs dans cet étage tempéré — se sont ajoutées des cultures spéculatives au premier rang desquelles figure le haricot, dont les bénéfices sont capitalisés dans un micro-élevage composé d'une ou plusieurs têtes de bétail si l'exploitation dispose de suffisamment de terre. Le système se rapproche du précédent, mobilisant plus de force de travail (1 ha par travailleur) d'origine familiale, parfois renforcée par des journaliers en période de pointe. Malgré cela, faute de trésorerie et de crédit en avance aux cultures, la combinaison des moyens de production est moins efficace que dans les *fincas*. Les semences sont prélevées sur les récoltes précédentes, la fertilisation est faible, le manque de moyens de travail général. Ceux qui s'en sortent le mieux sont ceux qui disposent dans la famille d'une activité extérieure rémunérée mensuellement, qui devient la trésorerie de l'exploitation. Quand il existe, l'élevage est intensif, basé sur la gestion de sous-produits des cultures, mais la production laitière n'est pas régulièrement commercialisée, faute de structure adéquate coopérative ou privée. Le produit brut atteint 800 dollars par hectare dont 300 sous forme de consommation directe familiale. Les charges directes de 50 dollars par hectare sont faibles car l'essentiel du travail est couvert par la famille sans rémunération.

Les *minifundios* (moins d'un hectare) se trouvent sous le seuil de l'autonomie alimentaire, dans les conditions du Mira. Pour subsister, les familles doivent trouver des revenus extérieurs sous la forme du travail journalier dans les autres catégories d'exploitations agricoles. La productivité agricole est ici très faible et non monétarisée.

La situation générale des exploitations agricoles de cet étage montre comment l'irrigation a permis certaines évolutions qui ne vont pas toutes dans le sens d'un accroissement notable de la production agricole. Seules les *fincas* et les petites exploitations paysannes ont sensiblement accru leur productivité, malgré les difficultés économiques, l'absence de marchés organisés, de crédit. La grande fragilité de cette évolution provient du caractère spéculatif de la culture du haricot vendu à un prix élevé sur le marché colombien voisin en raison d'un taux de change favorables pour les paysans équatoriens. Il suffit que ce taux s'inverse pour remettre en question ce développement. L'absence de culture de rente, base de négociation entre producteurs et l'État, et le système de crédit limitent la productivité que ces systèmes pourraient atteindre et la capitalisation sous forme d'outillage, de bâtiments, etc.

Le manque d'eau a des effets variables selon les catégories d'exploitation. Il ralentit les stratégies en place, par exemple en ne mettant pas toutes les terres en culture pendant la saison sèche. L'accroissement des dotations au profit des catégories extrêmes n'aurait pas de conséquences macro-économiques importantes dans les conditions de ce bassin hydrographique et dans cet étage bioclimatique.

3.7. Le problème des organisations sociales et de la maintenance des réseaux d'irrigation

Depuis la promulgation de la Loi sur l'eau en 1972, l'INERHI administre l'eau en donnant des concessions aux irriguants ou groupes d'irriguants organisés qui en font la demande (obligatoire). 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'irriguants, avec accroissement des tensions entre groupements appartenant aux mêmes systèmes d'irrigation. Ce phénomène peut être avivé par les interventions publiques comme par les organisations non gouvernementales qui agissent sur le développement agricole, avec un clientélisme affiché. L'accroissement 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 pour organiser les *mingas* (travaux collectifs) et faute de participants. Une tendance très forte de nombreux paysans est d'envoyer à leur place un journalier, préférant consacrer ce temps de travail collectif à leurs activités propres. Même les incidents graves avec interruptions de service ne font pas toujours l'objet d'une mobilisation prompte d'une partie des usagers. À terme, les conséquences peuvent aller jusqu'à la remise en cause de l'existence du réseau avec des effets économiques et sociaux désastreux.

CONCLUSIONS

L'étendue des problèmes est considérable. Ils sont de toutes natures. Ils sont inter-dépendants. Leurs résolutions supposent un investissement humain et intellectuel, très intense. Ne rien faire aboutit à terme à une crise grave de nombreux systèmes agraires. Parmi les voies d'investigations et d'actions, on peut citer les points suivants qui ne constituent pas une liste exhaustive de travaux mais simplement des axes à approfondir.

1. Mobilisation de l'eau

- références actualisées sur les disponibilités de chaque bassin ;
- structure de concertation par grand bassin hydrographique ;
- programme de régulation des prises d'eau ;

...

2. Transport de l'eau

- protection des canaux aux points sensibles ;
- revêtement des secteurs filtrants ;

...

3. Répartition des dotations

- révision de certaines dotations ;
- restructuration de secteurs irrigués en liaison avec les associations d'irrigants ;
- installation d'ouvrages de répartition proportionnelle pour préserver l'équité des dotations ;

...

4. Organisation des tours d'eau

- diagnostic au cas par cas du fonctionnement du tour d'eau et propositions d'adaptation en concertation avec les associations d'irrigants ;
- mise en place de réservoirs de stockage nocturne et de régulation ;

...

5. Application de l'eau à la parcelle

- installation de petits dispositifs expérimentaux afin de déterminer les paramètres optimisant l'épandage de l'eau sur les principales cultures ;

...

6. Évolution des systèmes de production

- organisation des structures d'approvisionnement et de crédit ;
- organisation de structures de commercialisation et transformation ;
- formation des paysans ;

...

7. Organisations paysannes

- renforcement du pouvoir des juntas de l'eau, notamment dans les domaines de la « police de l'eau » et de l'organisation de la maintenance ;
- interventions intégrant l'ensemble des parties prenantes sur une ZARI (actions concertées et cohérentes bénéficiant à l'ensemble des groupements) ;

...

ANNEXE

MÉTHODES UTILISÉES AU COURS DU DIAGNOSTIC DE TERRAIN (aspects agro-socio-économiques)

Inventaire des réseaux et description des périmètres

Synthèse des informations existantes, photo-interprétation, cartographie initiale, vérification systématique de toutes les infrastructures, prises, segments, nœuds, délimitation des périmètres et caractérisation agricole et socio-économique, carte de synthèse détaillée au 1/25 000 (produit scientifique restitué aux juntas de l'eau de la zone).

Analyse de la répartition de l'eau (dotations par périmètres et tours d'eau)

Enquête sur échantillonnage de parcelles sur photos aériennes ou sur liste de parcelles ; information sur les origines des éventuels manques d'eau et sur les conséquences.

Analyse de l'application (en collaboration avec l'hydrologie)

Mise en place d'un suivi journalier de parcelles de référence conduites par les producteurs selon leurs propres décisions ; mesure de la pluie, des entrées et sorties superficielles de l'eau ; relevés des étapes de développement de la végétation, des états de celle-ci, des opérations culturales avec le travail et les coûts ; mesure ou relevé de la production finale et des produits de sa vente ; mesures ponctuelles : analyse de sols, densité de la population végétale.

Évolution des systèmes de production

Enquête lourde sur une série d'exploitations représentant la diversité de la zone, comprenant le relevé familial, foncier, l'équipement, les successions de culture sur chaque parcelle identifiée sur photo aérienne, les itinéraires techniques types, les problèmes liés à l'irrigation, aux semences, à la fertilisation, aux contrôles phytosanitaires et à la trésorerie.

Organisations paysannes

Contacts réguliers et discussions avec les juntas de l'eau qui recevront restitution du diagnostic en fin de projet.

ÉLÉMENTS DE BIBLIOGRAPHIE
(travaux de l'équipe ORSTOM-INNERHI)

- **LE GOULVEN, P. ; RUF, T. ; RIBADENEIRA, H. ; 1987.**
Méthodologie générale et détails des opérations du projet ORSTOM-INNERHI, INNERHI/ORSTOM, Quito, 91 p.
- **RUF, T. ; LE GOULVEN, P. ; 1987.**
L'exploitation des inventaires réalisés en Équateur pour une recherche sur les fonctionnements de l'irrigation, in *Bulletin de liaison n°12*, Département H, ORSTOM, Paris, p. 30-47.
- **LE GOULVEN, P. ; RUF, T. ; RIBADENEIRA, H. ; 1989.**
Traditional irrigation in the Andes of Ecuador. 1. Research and planning. 2. Dysfunctions and rehabilitation, communication 7th Afro-asian Regional Conference, International Commission of Irrigation and Drainage, Tokyo, 15-25 octobre 1989, p. 351-371.

En préparation

- *Éléments pour les plans d'irrigation des bassins hydrographiques du Mira, du Guayllabamba et du Pastaza ;*
- Monographies de ZARI : Urcuquí, Pifo, Santa Rosa-Pilahuín, Guamote, Gualaceo.

Com :
VI èmes Journées Hydrologiques de Montpellier
ORSTOM, Montpellier, 12-13/09/90, 22 p.

L'EAU ET SA GESTION DANS LA PLANIFICATION DE L'IRRIGATION TRADITIONNELLE DANS LES ANDES ÉQUATORIENNES

par Patrick LE GOULVEN*, Thierry RUF**,

RESUME

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 multidisciplinaire 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'État.

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

* Hydrologue, Mission ORSTOM, Apartado 17.11.06596, Quito - Équateur

** Agro-économiste, Mission ORSTOM, Apartado 17.11.06596, Quito - Équateur

1. L'IRRIGATION EN ÉQUATEUR

1.1 Situation et caractéristiques générales du pays

La partie continentale de la République de l'Équateur 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 1 000 km à l'ouest du continent.

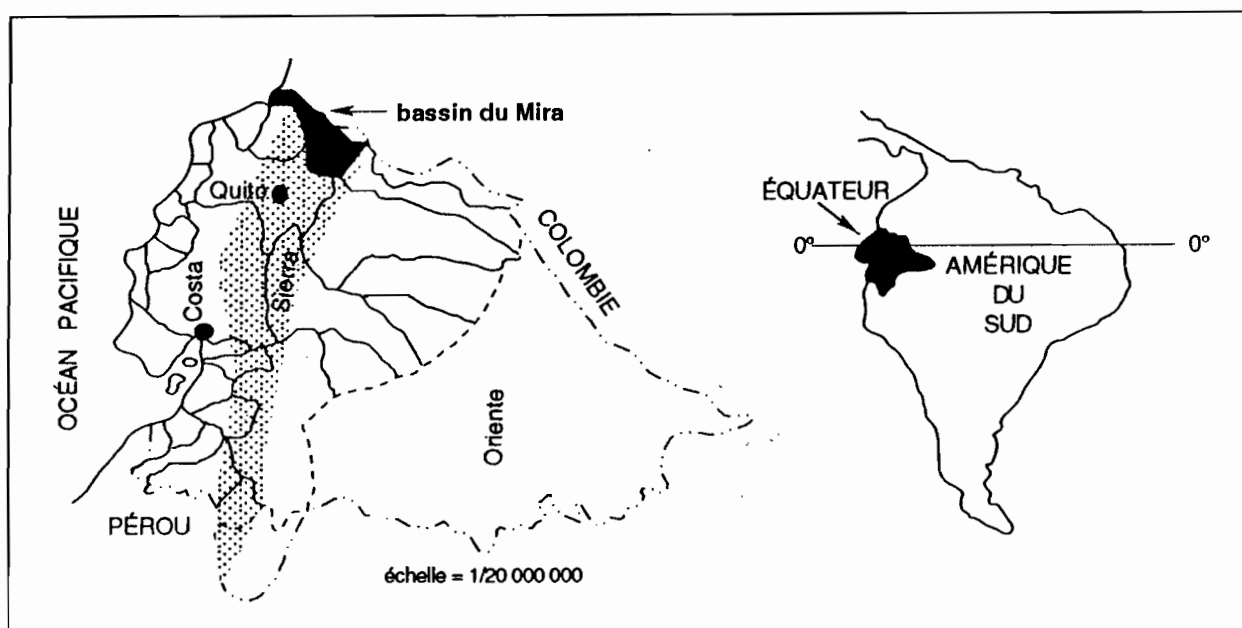


Figure 1 - Équateur, régions naturelles - bassins hydrographiques

La superficie du territoire continental est d'un peu plus de 281 000 km², répartis d'ouest en est en trois 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 km). Dans ses parties occidentale et nord-occidentale, s'élève une petite cordillère qui ne dépasse pas les 800 m 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 km. Dans sa partie nord, on distingue 2 massifs (cordillères Occidentale et Royale) bien séparés par un couloir interandin d'environ 40 à 50 km de large, et couronnés de volcans dépassant les 6 000 m d'altitude (Cotopaxi, Chimborazo). C'est dans un de ces bassins interandins, à 2 850 m d'altitude, que les Espagnols établirent la capitale : Quito.

Dans le Sud du pays, les cordillères perdent leur individualité et les cimes leur altitude (3 500 m).

- 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 la courte période qu'ils occupèrent le centre et le Nord de l'Équateur.

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 de 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 XVI^e siècle de nombreuses *acequias* (canaux d'irrigation) étaient en fonctionnement et suscitaient déjà d'âpres débats juridiques.

Certaines gravures de l'époque font état d'*acequias* encore en fonctionnement (*acequia* « Caniques » du village d'Urcuquí 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 XVII^e et le XIX^e siècles, 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 XIX^e et XX^e 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 XX^e 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'État.

1.3 Une intervention récente de l'État

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 de 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 Équatorien des Ressources Hydrauliques (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 ha, 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 préétabli (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 Économique 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 zigzag.

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. figure 1) peuvent être étendues à l'ensemble des Andes. L'irrigation publique touche environ 5 % des superficies irriguées, 10 % reçoit l'eau des deux 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'État 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 et de l'Élevage (MAG) terminaient l'inventaire des ressources naturelles renouvelables au sein du PRONAREG (Programme National de Régionalisation Agricole). 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 ? (P. POURRUT, 1980).

Cette première réponse au problème de la gestion des ressources hydriques en Équateur 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 ORSTOM - INERHI (OBJECTIFS ET MÉTHODOLOGIE)

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'Équateur.

Par contre, la première phase ne varie pas au gré de changements gouvernementaux si elle est 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 de 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 œuvre, le travail est réduit au couloir interandin. À 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.

Étant 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 (milieu 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 demande. Cependant, la variabilité de la ressource dans l'espace et dans le temps induit des déséquilibres flagrants, caractérisés par une succession de sécheresses (couloir interandin) et d'inondations (*Costa*).

La région amazonienne et la partie nord de la *Costa* reçoivent plus de 3 000 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 3 000 mm). Le régime pluviométrique comprend une saison de 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 de 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 de 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 1 500 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 (deux 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 ha en 1992 (500 ans après 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. figure 1), et qui constituent la base du premier découpage de l'espace.

Le couloir interandin est donc divisé en portions de bassins hydrographiques, 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 des grandes 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 deux) 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 interandin. 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 Équateur dans le cadre du PRONAREG (CADIER, E. ; POURRUT, P., 1979) et en Colombie (LE GOULVEN, P., 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 km². Ils constituent un canevas hydraulique contrôlé par 11 stations hydrométriques (cf. figure 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 crête qui séparent chaque bassin unitaire ne sont plus très marquées lorsqu'on arrive en fond de vallée.

Les *acequias* 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 considérable pour construire des infrastructures importantes.

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

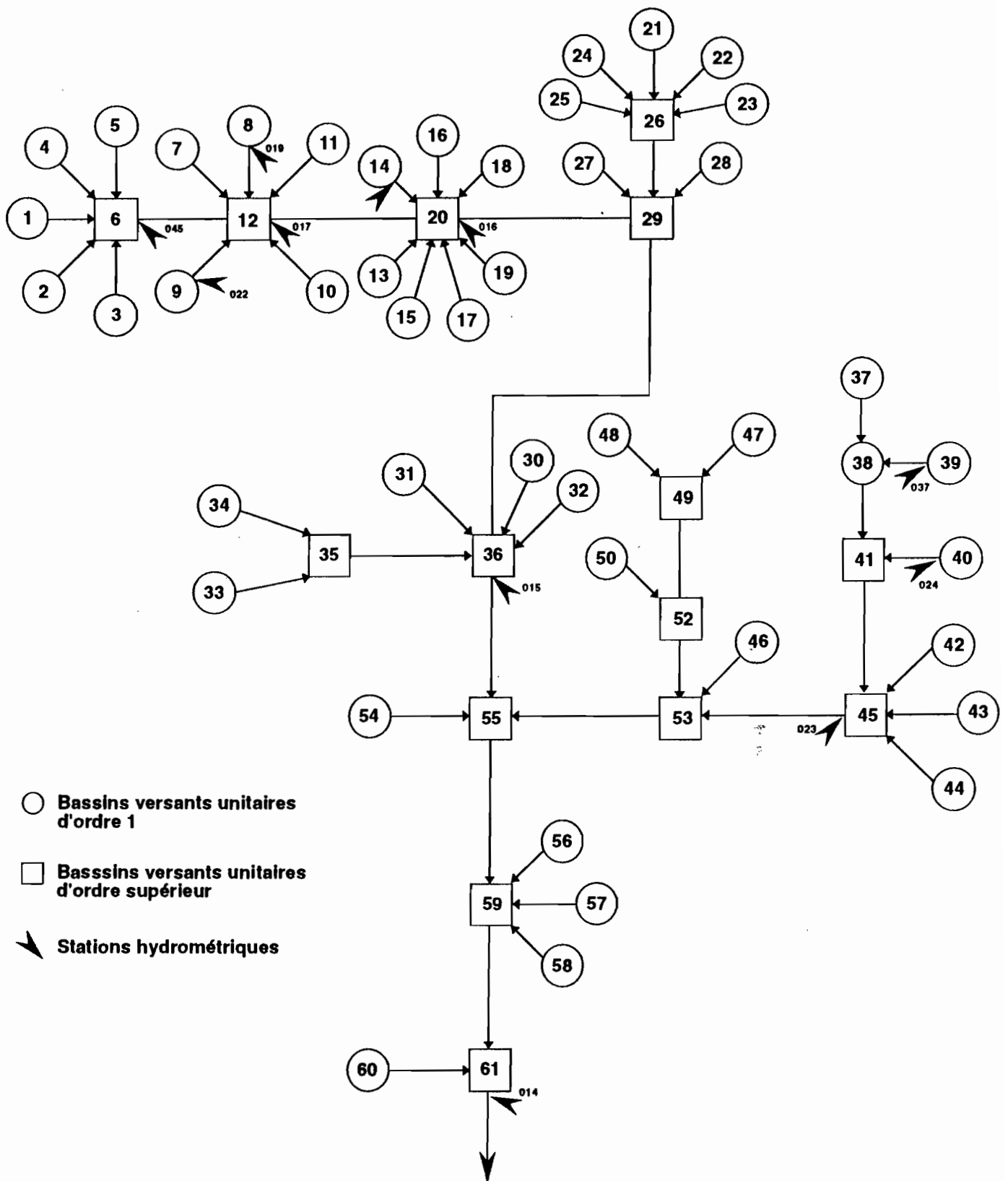


Fig. 2 - Division du bassin hydrographique du Mira en bassins versants unitaires
Schématisation hydraulique de fonctionnement et emplacement des stations hydrométriques du réseau

Dans le bassin du Mira, elles sont trois fois plus grandes que les bassins unitaires, et sur les 20 rencontrées, deux 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. figure 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 (< 2 200 m) contient les grandes haciendas technicisées qui essaient de conserver leurs privilèges d'antan et produisent des cultures de rente (canne à sucre par exemple) ;
- l'étage tempéré (entre 2 200 m et 2 800 m) est très parcellisé (moins d'une hectare) et se consacre avant tout à une polyculture dominée par le maïs et le haricot ;
- l'étage froid (> 2 800 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 constamment 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 permet d'estimer leurs variations en fonction des changements que ne manquera pas de provoquer toute intervention.

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

À 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.

À 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 ; étude 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 journalière 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**
Étude 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).
- **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**
Évaluation 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 référence 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 des 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'elles maintiennent avec les organismes d'État (INERHI principalement).

2.4 Localisation, Organisation et Caractérisation de l'Irrigation Équatorienne (LOCIE)

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 ORSTOM-PRONAREG 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 nœuds et segments, suivant le principe des réseaux maillés urbains, codification, un peu lourde au départ, qui permet de descendre le courant (conditions imposées au niveau de la demande en aval) ou de le remonter (conditions imposées au niveau de l'offre en amont) ;
type de construction des segments et des nœuds, état d'entretien des canaux, débits transités, longueurs, pentes.
- **ZARI**
Regroupement et première synthèse des informations précédentes ;
entrée 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 DONNÉES SUR LE BASSIN DU MIRA

1 - Superficie du bassin :	350 000 ha	
2 - Superficie agricole :	139 200 ha	(40 % de 1)
3 - Superficie équipée :	47 100 ha	(34 % de 2, 13 % de 1)
4 - Superficie irriguée :	35 200 ha	(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 habitants	
9 - Densité agricole :	120 habitants/km ²	
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 ³ /s	
16 - Débit total concédé :	14,4 m ³ /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 :	1 170 km	
24 - Longueur de canaux revêtus :	6 km	
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 ORSTOM-INERHI 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 3 600 et 4 500 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 bioclimatique 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 diversité de la productivité fait l'objet d'une analyse 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 optimales 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 décadaire serait intéressant du point de vue agronomique, mais pour des raisons évidentes de manipulation des 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.

- **Étude climatique préliminaire**

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

Elle concerne la pluie et l'évapotranspiration potentielle — ETP — (température, humidité relative, insolation, vent, évaporation 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 dérivées 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 (figure 4).

Les stations sont ensuite regroupées toujours par la méthode du vecteur régional selon des critères de similitude (coefficients de corrélation 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 vieillesse 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 m³/s qui ne tient pas compte des 19 m³/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.

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 d'étalonnage 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 (figure 2).

Une fois calculés les débits naturels sur chaque bassin versant unitaire, 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.

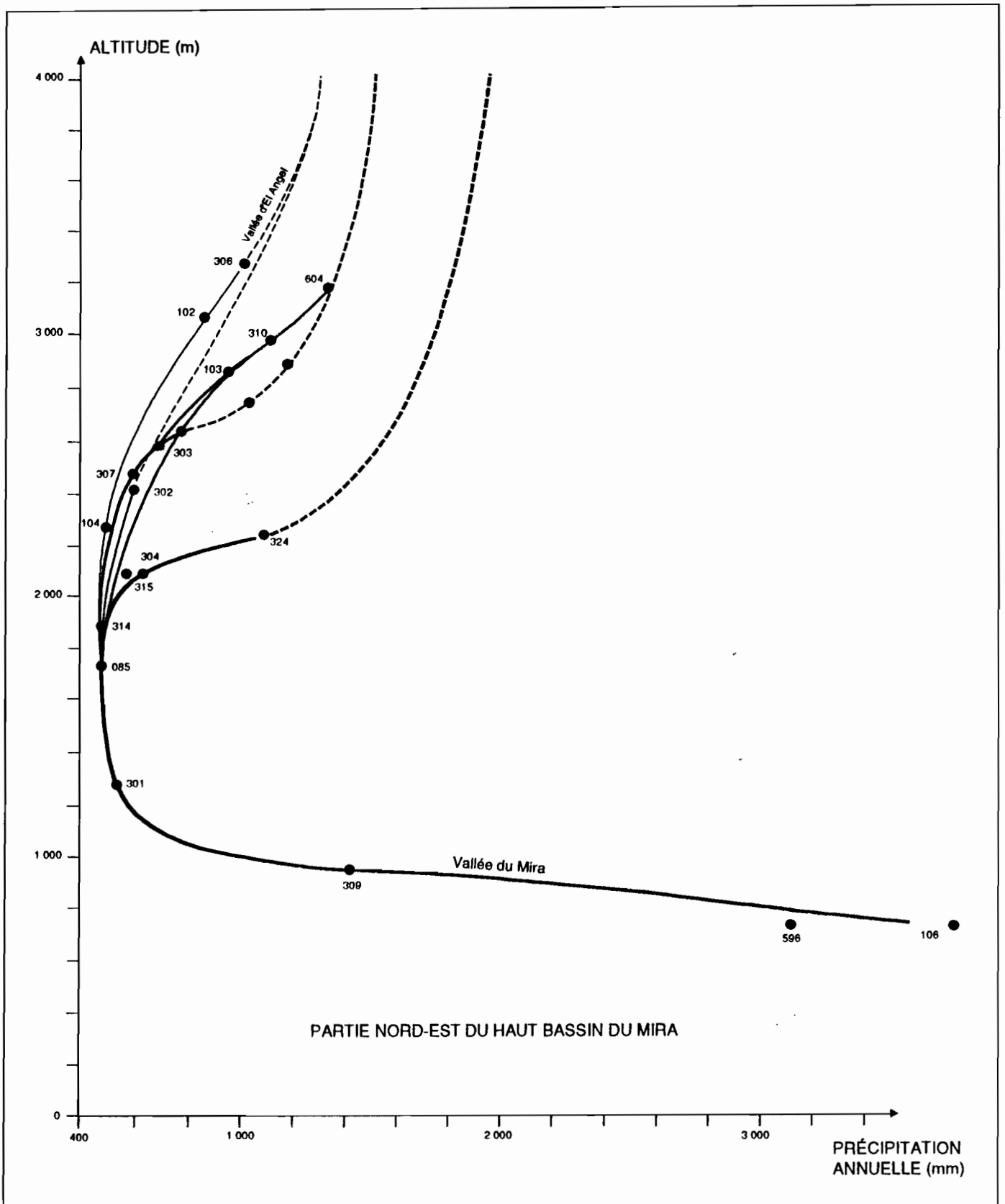


Figure 4 - Relations entre pluie et altitude dans les différentes vallées du Mira

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 prix unitaires.

À 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 d'étalonnage : celui de la ZARI d'Urcuquí (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 RÉSULTATS SUR LE FONCTIONNEMENT DES RÉSEAUX TRADITIONNELS

On abordera la description des principales caractéristiques de fonctionnement selon les différentes échelles d'intervention (figure 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.
- Le non respect des concessions par les usagers situés en amont qui donne lieu à des conflits juridiques sans fin pouvant 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.

Étant 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 pas 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 empêche 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 *acequia* vient détruire la seconde et ainsi de suite.

En moyenne, les éboulements provoquent plus d'un 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.

LES ÉCHELLES DE TRAVAIL SUR LE FONCTIONNEMENT DE L'IRRIGATION DANS LES ANDES

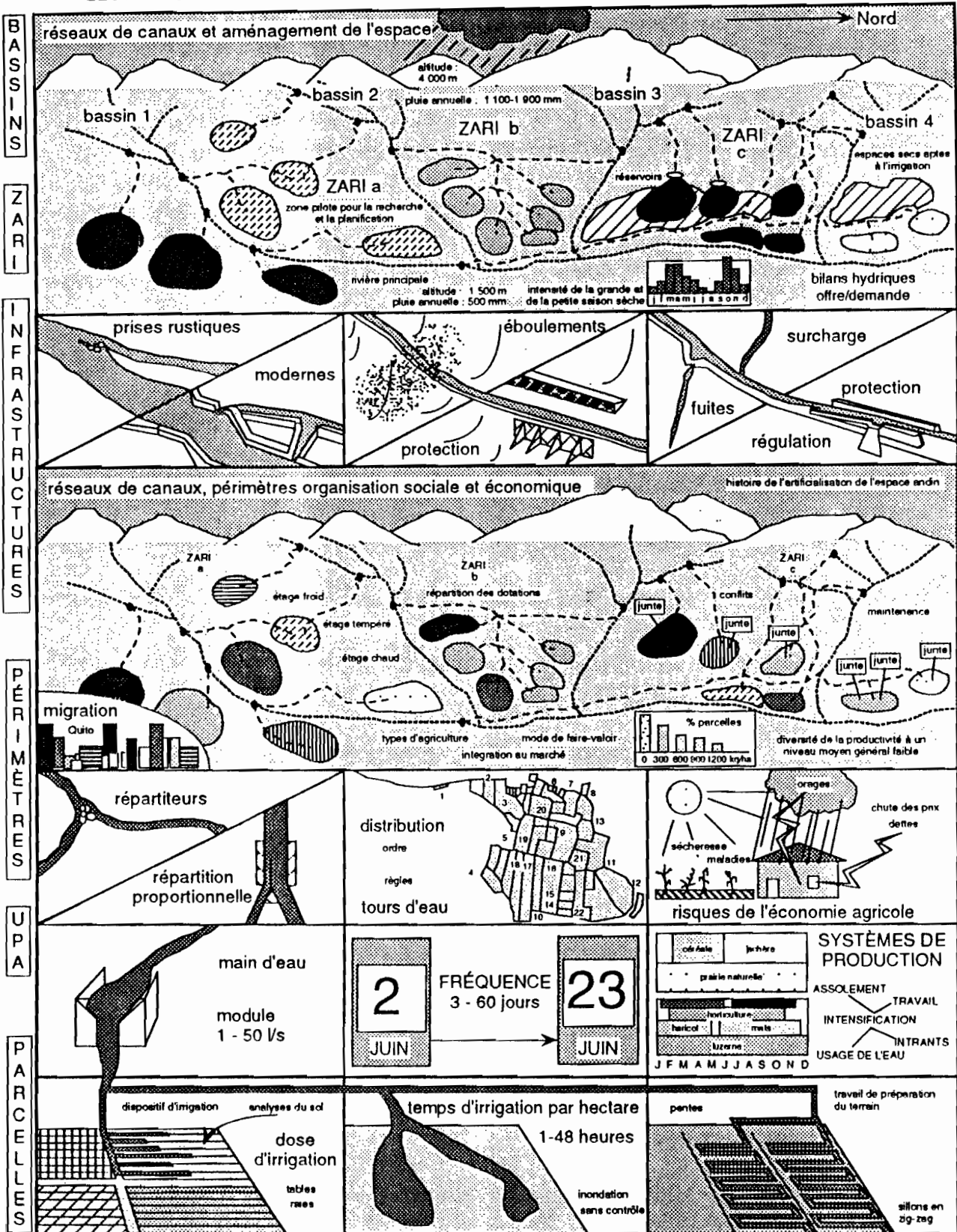


Fig. 5 - Schématisation de la collecte, du transport et de l'utilisation de l'eau dans une ZARI
Les différents niveaux d'analyse

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 *acequias*. Sachant que dans le seul bassin du Mira, il existe 1 200 km de canaux, on peut estimer que dans la *Sierra* on approchera les 10 000 km. 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 démontrant 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 Équité 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 bioclimatique. Alors le jugement sur l'équité de la dotation générale entre périmètres prend un sens.

	faible dotation	dotation moyenne	forte dotation
Étage froid 2 700 - 2 300 m	1 500 ha 0,1 l/s/ha	2 200 ha 0,25 l/s/ha	2 100 ha 0,4 l/s/ha
Étage tempéré 2 200 - 2 700 m	5 000 ha 0,2 l/s/ha	5 200 ha 0,45 l/s/ha	3 800 ha 0,7 l/s/ha
Étage chaud 1 500 - 2 000 m	3 000 ha 0,3 l/s/ha	2 900 ha 0,6 l/s/ha	3 100 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 surdoter (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 manœuvre 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 Urcuquí (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 à 50 l/s, temps d'irrigation à l'hectare de 2 à 48 heures, fréquence de 3 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 XIX^e siècle jusqu'au milieu du XX^e siècle dans la majorité des cas). C'est donc en Équateur 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'irriguants est la province du Tungurahua située à 150 km 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 d'« eaux achetées » (*aguas compradas*), les associations se sont constituées au moment de la construction des canaux. Leurs membres ont acheté des parts qui leur conféraient 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 irriguants entraîne une micro-parcellisation forcenée. 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 irriguants achèterent 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 ayants 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 la 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 zigzag 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 peuvent 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 la ressource en accordant des concessions aux irriguants ou groupes d'irriguants 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'irriguants, 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.

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

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CADIER, E.; POURRUT, P., 1979. Inventaire 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'Équateur, 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. Éléments de base pour la planification de l'irrigation en Équateur, in *Cahiers ORSTOM*, série Hydrologie, Vol. XVII, n° 2.
- LE GOULVEN, P., 1986. *Élaboration du Plan National d'Irrigation ; analyse de la situation et conception générale*, INERHI-ORSTOM, Quito, 1986, 22 p. (français, espagnol).
- RUF, T. ; LE GOULVEN, P., 1987, L'exploitation des inventaires réalisés en Équateur pour une recherche sur les fonctionnements de l'irrigation, in *Bulletin de liaison N° 12 « Équateur »*, ORSTOM, Département H, 06/87, Paris, p. 30-47 (français, espagnol).
- LE GOULVEN, P. ; RUF, T. ; RIBADENEIRA, H., 1987. *Méthodologie générale et détails des opérations du projet INERHI-ORSTOM*, INERHI-ORSTOM, Quito, 91 p. + ann. (français, espagnol).
- RUF, T. ; RIBADENEIRA, H., 1987. *Selección de Micro-cuencas representativas en la Sierra*, INERHI-ORSTOM, Quito, 30 p. + ann. (français, espagnol).
- RUF, T., 1987. *Usted dijo « sistemas de producción », yo comprendí « sistemas de producción », ensayo sobre el análisis de los conceptos y de los modos*, Conferencia en el Seminario « Sistemas Agrarios en el Perú », UNALM-ORSTOM, Lima, 10/87, 39 p.
- LE GOULVEN, P., 1988. *Homogeneización de los datos pluviométricos*, Conferencia en el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Quito, mars 1988, 23 p.
- LE GOULVEN, P., 1988. *El vector YBM., resumen metodológico; programas V1, V2, V3, manual del usuario*, INERHI-ORSTOM, Quito, 14 p.
- LE GOULVEN, P. ; ALEMÁN, M. ; OSORNO, I., 1988. Homogeneización y regionalización pluviométrica por el método del vector regional, in *Actas del V Congreso Ecuatoriano de Hidráulica*, Quito, p. 59-83.
- LE GOULVEN, P. ; RUF, T. ; RIBADENEIRA, H., 1989. *El Agua y el Campesino*, Seminario del Centro Internacional de Cooperación para el Desarrollo Agrícola (CICDA), Cuenca, 17 juin 1989, 25 p.
- LE GOULVEN, P. ; RUF, T. ; RIBADENEIRA, H., 1989. Traditional irrigation in the Andes of Ecuador, (1) Research and Planning, in *Actas de la Seventh Afro-Asian Regional Conference of International Commission on Irrigation and Drainage (ICID)*, Tokyo, octobre 1989, p. 351-361.
- LE GOULVEN, P. ; RUF, T. ; RIBADENEIRA, H., 1989. Traditional irrigation in the Andes of Ecuador, (2) Dysfunctions and Rehabilitation, in *Actes de la Seventh Afro-Asian Regional Conference of International Commission on Irrigation and Drainage (ICID)*, Tokyo, octobre 1989, p. 362-371.
- RUF, T. ; LE GOULVEN, P. ; RIBADENEIRA, H., 1990. *Principales problemas del diagnóstico sobre el riego tradicional andino en el Ecuador*, communication séminaire « Manejo del riego andino », Cajamarca, 20-27 janvier 1990, 15 p.

Com :
**Colloque International " Agriculture et paysannerie
en Amérique Latine "**
**Centre National de la Recherche Scientifique
CNRS/Université du Mirail, Toulouse, 13-14/12/90.**

DYSFONCTIONNEMENTS ET ADAPTATIONS DANS LES SYSTEMES AGRAIRES IRRIGUES DES ANDES DE L'ÉQUATEUR

par Thierry RUF^{*}, Patrick LE GOULVEN^{**}

RESUME

En l'espace de 30 ans, les régions irriguées "traditionnelles" (réseaux d'irrigation remontant à au moins 50 ans) ont connu des évolutions très différentes comme l'abandon de l'agriculture et le départ massif vers de nouveaux bassins d'emploi urbains ou agricoles (Plaine Côtière), ou, à l'opposé, la constitution de systèmes de production très intensifs permettant à la population agricole de se maintenir à la campagne, même sous des densités voisines de 500 habitants au kilomètre carré agricole (utile).

Cependant, tous les systèmes agraires concernés par des infrastructures irriguées anciennes souffrent de dysfonctionnements liés à la mobilisation de l'eau, son transport, sa répartition, sa distribution et son application, à la maintenance de l'ensemble, sous l'effet de changements démographiques, socio-économiques, et compte tenu de l'évolution des systèmes de production.

Faute d'adaptation, de résolution des problèmes de gestion de l'eau, ces réseaux pourraient disparaître, non sans passer par des étapes conflictuelles entre les différentes parties prenantes.

* Agro-économiste, Mission ORSTOM, Apartado 17.11.06596, Quito - Équateur

** Hydrologue, Mission ORSTOM, Apartado 17.11.06596, Quito - Équateur

1. LA DIVERSITÉ AGRAIRE ANDINE.

Le Couloir interandin en Equateur comprend du Nord au Sud une série de grands bassins hydrographiques indépendants, tantôt ouverts sur la plaine côtière (la Costa), tantôt sur l'amazone. Le relief est d'origine volcanique dans le nord, tectonique et sédimentaire dans le sud. Les crêtes ont une altitude moyenne de 4000 m.

Le réseau hydrographique de type torrentiel structure l'espace andin en entités géographiques aux accès souvent difficiles. Certaines gorges sont de véritables barrières, notamment dans les étages sub-tropicaux (1600-2400m) soumis à un climat mésothermique sec ($P < 600\text{mm}$, 8 à 12 mois secs, ETP - $P = 150$ à 600 mm).

L'étage tempéré (2400-3000 m) reçoit une pluviométrie plus abondante (600-1000 mm) mais irrégulièrement répartie dans l'année: les pluies sont rares en été (juin-septembre) comme durant le "petit été" (décembre-janvier).

Ce phénomène existe aussi dans une moindre mesure dans l'étage froid (3000-3600m).

Les déficits hydriques permanents ou ayant de fortes probabilités d'apparition ont amené la création de réseaux d'irrigation qui concernent l'ensemble des trois étages bio-climatiques. On évalue la superficie agricole sous infrastructure irriguée à environ 500.000 hectares dont plus des trois quarts dépendent de réseaux anciens.

La population agricole qui représente encore plus de 50% de la population totale des Andes, n'occupe pas de manière homogène l'espace agricole. D'une part, l'étage tempéré est plus peuplé que les étages subtropicaux et froids, d'autre part, le maintien de l'emprise foncière des haciendas dans certains bassins, la crise de l'agriculture paysanne pluviale dans d'autres régions, expliquent une mosaïque de densités de population surprenante dans les écarts de recensement comme dans l'observation des paysages.

Ramenée au kilomètre carré agricole, la densité varie d'une valeur presque nulle à une valeur proche du demi-millier d'habitants au kilomètre carré. D'un désert humain, on peut passer en peu de temps à ce que J.L. Sabatier qualifiait de "Chine des Andes" (mission d'appui au projet, fev.89).

Face à cette diversité de conditions géomorphologiques, climatiques et humaines, on rencontre une série de situations agricoles très variées. L'usage du sol peut être classé selon les étages, les dominantes foncières et les dominantes de production.

Du côté des haciendas, on distingue trois familles principales:

- les systèmes d'élevage extensif sur prairies naturelles (dans tous les étages);
- les systèmes agro-industriels de type Canne à sucre (en association éventuelle avec des systèmes d'élevage)(étage subtropical);
- les systèmes de grande céréaliculture basé sur le blé et l'orge (étage tempéré ou froid).

Dans les zones paysannes, on trouve:

- les systèmes d'autosubsistance basé sur une monoculture comme le maïs en étage tempéré;
- les systèmes de polycultures associés parfois à l'élevage, avec des cas de culture continue très intensive (2 cultures par an).

La question de la genèse de ces systèmes et de leur dynamique n'a guère été abordée en Equateur.

2. IMPORTANCE DE L'IRRIGATION.

Dans l'étage froid et dans l'étage tempéré, l'agriculture pluviale peut être pratiquée avec les risques liés aux sécheresses et aux dates de leur manifestation.

L'irrigation devient un élément régulateur de la production de cultures pluviales. Sa pratique permet d'éviter une gestion de stocks alimentaires pour faire face à plusieurs années de mauvaises conditions climatiques. Par ailleurs, en absence de stockage de fourrages, l'irrigation des prairies naturelles favorise le maintien d'un élevage de proximité dans la zone tempéré sans avoir recours à la transhumance vers les pâturages de haute montagne.

Les réseaux andins traditionnels existant actuellement ont été établis au cours de la période coloniale et après l'indépendance, tout au long du XIXe Siècle. En fait, la construction de nouveaux canaux n'a jamais cessée, ceux établis aujourd'hui ne constituant que l'ultime maillon d'une longue chaîne d'aménagements superposés.

Certains auteurs ont cherché à démontrer l'existence de canaux préhispaniques dans les Andes équatoriennes. A ce jour, nos recherches sur les Archives des Procès d'irrigation n'apportent aucune certitude sur la réalité d'une irrigation à grande échelle des zones tempérées comme des zones subtropicales.

La configuration actuelle des aménagements, la datation de la construction des réseaux et la résolution des conflits de propriété et de droits d'usage au cours des siècles montrent que l'eau d'irrigation est un enjeu fondamental entre les groupes sociaux qui contrôlent le territoire à irriguer comme le territoire fournissant la ressource, les hauts bassins versants bien arrosés par les pluies.

Au fur et à mesure des besoins et selon les conflits en cours, les haciendas ont fait établir des canaux propres, exploitant d'abord les ressources proches mais peu abondantes, puis des ressources lointaines. Parfois, leurs propriétaires cherchaient un appui auprès d'autres haciendas mais aussi auprès de certaines communautés paysannes "libres" qui, en échange de travail ou par l'achat d'"actions", recevaient des droits d'eau.

En 1972, quelques années après la réforme agraire, est intervenue la réforme de la législation de l'eau. La nationalisation des eaux fut promulguée et leur gestion confiée à un organisme public, l'Institut National des Ressources Hydrauliques, chargé notamment de concéder les droits d'eau pour des périodes renouvelables de 10 années.

En fait, l'INERHI a surtout constitué une chambre d'enregistrements de droits plus anciens, poursuivant une politique d'aménagements nouveaux à coup de grands projets coûteux dans les Andes comme sur la Costa.

3. EVOLUTION COMPARÉE DE 5 SYSTÈMES ANDINS CONCERNÉS PAR L'IRRIGATION.

La complexité des réseaux, l'enchevêtrement des canaux, les transferts de bassin versant nous ont amenés à étudier les problèmes de fonctionnement de l'irrigation au sein d'une entité spatiale cohérente: la "Zone d'analyses et de Recommandations pour l'Irrigation" (ZARI) est l'unité spatiale de la mobilisation, du transport et de l'utilisation de l'eau d'irrigation. Dans les cas simples, c'est l'interfluve entre deux grands torrents collecteurs.

3.1. La ZARI d'Urcuqui: conflit avec le Gamonalisme pour récupérer ses droits sur le canal du village.

Situé dans le bassin du Mira, à l'ouest d'Ibarra, à 2300 m d'altitude, Urcuqui fut dans les années 1920-1940 un symbole des luttes paysannes contre les grands propriétaires fonciers. Le canal "grande" ou "caciques" fut établi en 1592 par les indiens du village pour irriguer leurs terres. Au cours des siècles, les haciendas situées en dessous du territoire paysan ont concentré les droits d'eau du canal (par différents procédés d'achats ou d'attribution des droits). Au début du XXe Siècle, Urcuqui ne dispose plus que de quelques litres par seconde.

La mobilisation du village (devenu essentiellement métis) contre le principal hacendado, le fameux Jijon y Caamaño, a aboutit en 1944 à la restitution officielle de tout le débit pour Urcuqui (acquise à l'Assemblée Constituante à Quito). Un tour d'eau a été organisé entre les paysans sur la base suivante: une main d'eau de 33 l/s ("molino") pendant 3 heures par hectare, tout les 21 jours.

Le privilège des "caciques" fut maintenu, le tour d'eau s'arrêtant deux jours tous les 14 jours à leur profit. Ce système contentait les agriculteurs qui souhaitaient disposer d'eau pour le maïs conduit en pluvial, en cas de sécheresse, et pour irriguer en été une prairie naturelle. L'agrandissement du réservoir situé à l'entrée du périmètre, réalisé par l'INERHI en 1980 a facilité la gestion du réseau de distribution mis en eau seulement durant la journée.

Cependant, après une période d'essor économique et démographique, les paramètres du tour d'eau ne correspondent plus aux besoins des systèmes de production.

On note deux évolutions contradictoires: ceux qui souhaitent cultiver plus intensivement les cultures à cycle court (succession maïs choclo - haricot frais) auraient plus de sécurité de culture en réduisant la fréquence d'irrigation, ce qui impliquerait un travail avec de plus petites mains d'eau. Par contre ceux qui veulent développer la production fourragère ont surtout besoins de grandes mains d'eau pour répartir l'eau dans les prairies.

Enfin, des groupes paysans indiens ou métis travaillant au dessus du territoire d'Urcuqui souhaitent disposer de droits d'eau. Leurs cultures ont été sévèrement touchées par les sécheresses des 3 dernières années.

3.2. La ZARI de Pifo, urbanisation et irrigation en absence de paysannerie.

A l'est de Quito, sur la chaîne orientale des Andes, les terroirs de Puembo (2200-2400 m) et de Pifo (2400-3500m) ont été artificialisés par quatre siècles d'aménagements. On dénombre une trentaine de systèmes traditionnels ainsi qu'un apport spectaculaire réalisé par l'INERHI à l'aide d'un siphon permettant de traverser la vallée du río Guambi.

Il y a 30 ans, la ZARI, reliée à la Capitale par la ligne de chemin de fer Quito-Ibarra, s'est trouvée incluse dans l'aire d'influence de la Capitale qui allait connaître une croissance urbaine et démographique très poussée, liée à la rente pétrolière.

La ZARI comprenait deux zones paysannes autour des bourgs de Puembo et Pifo, entourées de trois grands secteurs d'haciendas: en aval de Puembo, entre les deux villages et au dessus de Pifo. Chaque secteur disposait de systèmes d'irrigation propres, mais fragiles et coûteux à entretenir.

Aujourd'hui, la zone centrale d'hacienda a disparu à la suite de spéculations foncières péri-urbaines. Celles-ci touchent également les zones villageoises. Il s'est créé de petites propriétés appartenant à la classe moyenne de Quito, qui en font leur résidence principale ou de fin de semaine, exploitant les terres de manière très extensive en s'assurant les services de gardiens-cultivateurs.

Les associations d'irrigants ont disparu. Le réseau d'irrigation traditionnel a été abandonné faute d'entretien, et le projet de l'INERHI s'est substitué avec succès sur ce secteur dans la mesure où l'eau parvient à l'utilisateur sans aucun effort de sa part, et à un prix subventionné: environ 30 ff par hectare et par an pour un débit délivré en continu de 1 Vs.

Cette main d'eau est insuffisante pour pouvoir réussir une application à la parcelle. Seules les grandes propriétés ayant généralement des réservoirs de stockage ont la possibilité de valoriser cette eau.

Si certaines ont investi dans des activités intensives en travail comme la culture de fleurs sous serre ou l'élevage avicole hors-sol, la plupart de celles qui subsistent en aval de Puembo pratiquent des systèmes extensifs d'élevage, voire ne cultivent plus et ont commencé à préparer la prochaine "urbanisation des champs".

3.3. La Zari de Santa Rosa de Pilahuin: où l'on perçoit le potentiel d'évolution de l'agriculture andine irriguée.

Sur les contreforts du Chimborazo et du Carihuayrazo, s'étend l'étonnant paysage de Santa Rosa et Pilahuin: une multitude de champs de quelques ares couvre tout l'espace. C'est une mosaïque haute en couleurs.

Quelque soit la période de l'année, on observe des cultures variées, à différents stades de végétation, des parcelles où des paysans récoltent, d'autres où l'on scarifie le sol avec une araire tirée par deux petites vaches. Le soin apporté aux cultures est exceptionnel comme le montrent le dispositif d'irrigation composé de raies en zig zag, ou le contrôle des adventices.

La province du Tungurahua a évolué très rapidement vers une agriculture commerciale et paysanne.

A la fin du XXe Siècle, les grands propriétaires ont, semble-t-il, renoncé à leurs haciendas. Le capital foncier fût transféré sur les activités commerciales très actives en particulier pour alimenter les populations en migration vers la plaine côtière (expansion du Cacao au pied des Andes).

Le Chemin de fer Quito Guayaquil accentuait l'importance de carrefour des échanges entre la Sierra et la Costa, sans oublier la zone de pénétration amazonienne vers Puyo dont le point de départ est Ambato.

En moins de 100 ans, le système agraire de Santa Rosa s'est densifié. Vers 1900, quelques haciendas se querellaient les droits d'eau sur les hauts bassins versants du Carihuayrazo. La terre et l'eau ont été partagés au fur et à mesure des ventes et des successions.

Entre 1973 et 1988, le nombre d'usagers du Canal "Casimiro Pazmiño" a été multiplié par deux (600-1200).

Ils étaient 5 sociétaires en 1895.

Cette atomisation rend toujours plus complexe la gestion de canaux parfois long de dizaines de kilomètres, desservant de nombreuses communautés ayant derrière elles des relations conflictuelles. Le tour d'eau s'effectue aujourd'hui grâce aux chronomètres de montres japonaises, à la demi-minute près.

En cas d'incident sur le parcours sinueux (et difficile d'accès) du canal principal, la mobilisation collective ("minga") est difficile. De plus en plus d'agriculteurs préfèrent ne pas se déplacer mais envoyer un ouvrier agricole journalier, voire payer l'amende si l'association des usagers du canal en décide ainsi.

3.4. La ZARI de GUAMOTE: la fin de l'agriculture ?

Dans le même bassin hydrographique que Santa Rosa, mais à l'extrême sud, la région de Guamote constitue l'antithèse du Tungurahua. L'exode rural a vidé de ces hauts plateaux les terroirs autrefois cultivés sous le régime autoritaire d'hacendados.

Seules, les zones équipées de petits systèmes d'irrigation ont encore une population sédentaire, même si la plupart des hommes migrent sur la Costa. Femmes et enfants restent sur place, surveillent la culture pluviale d'orge et les quelques brebis ou vaches qu'ils possèdent.

Les animaux jouent une fonction d'épargne familiale entretenue tant bien que mal sur des prairies naturelles arrosées de manière approximative.

L'accroissement des cheptels résulte de la migration se base presque exclusivement sur cette ressource fourragère.

Comme dans presque toutes les Andes, la transhumance est moins pratiquée. Les paysans ont plutôt souhaités se partager les terres communales.

La fin des petits réseaux d'irrigation entraînerait une crise d'épargne et le risque d'une désertification humaine totale des régions centrales des Andes équatoriennes. Un effort devrait être entrepris pour améliorer la productivité des pâturages, voire stocker des réserves fourragères notamment pour faire face aux saisons sèches.

3.5. La ZARI de LUDO-GIMA en Azuay: une forte demande en réseau d'irrigation.

Dans la haute vallée du rio Santa Barbara en Azuay, la mise en cultures des terres de l'étage tempéré remonte à une trentaine d'années. Les haciendas morcelées par bloc de quelques dizaines d'hectares de maquis furent défrichées par des familles de colons métis venues de zones voisines.

Aujourd'hui, le territoire ne suffit plus pour nourrir une population de 5000 personnes vivant sur 2000 hectares. La culture principale, le maïs pluvial, est menée de manière très extensive avec un rendement dépassant rarement les 500 kg/ha.

Comme dans l'ensemble des Andes du Sud du pays, la migration rapporte l'essentiel des revenus des familles, avec l'artisanat (fabrication par les femmes de chapeaux panama). Mais, alors que dans la ZARI de Guamote, la population émigre de façon définitive, à Ludo, on note un attachement au village ou hameau d'origine.

Les migrants investissent dans l'habitat et dans l'achat de terre, épargnent à travers l'élevage, utilisant quand ils existent de petits réseaux pour irriguer des pâturages naturels.

On assiste à la dégradation des prairies par surcharges animales et accélération du rythme d'utilisation.

Il existe à la fois un manque d'eau et une gestion inadéquate des ressources fourragères.

La demande de création d'un réseau d'irrigation progresse chez les paysans, bien que beaucoup doutent de la réalisation du projet imaginé par un curé il y a 10 ans.

4. LES PRINCIPAUX DYSFONCTIONNEMENTS DES SYSTÈMES D'IRRIGATION ANDINS.

4.1 La mobilisation de l'eau.

En saison sèche, les ressources disponibles à une altitude donnée ont d'abord été limitées aux petits torrents encadrant les interfluves. Avec la mobilisation de la main d'oeuvre indienne, les hacendados entreprirent le creusement de canaux susceptibles de transférer des eaux de bassins versants lointains mais plus productifs ou réguliers.

Dans les zones irriguées du centre et du nord, l'ensemble des ressources hydriques du couloir interandin est exploitée.

Sur un torrent donné, il peut exister une forte dépendance entre les prises avals et amonts lors de l'étiage. En absence de stockage, si il n'existe pas d'autre ressource captable, le besoin en eau des périmètres avals n'est plus satisfait.

On voit naître des conflits de mobilisation et d'appropriation des eaux de torrents et rivières, allant parfois jusqu'à la "guerre des prises" (destruction ou modification des ouvrages).

4.2. Le transport de l'eau.

Dans certaines régions, le problème essentiel de transfert de l'eau réside dans les nombreuses interruptions de service liées aux éboulements provenant de secteurs dominant le canal, ou encore aux effondrements du canal lui-même.

Ce phénomène a des répercussions graves sur l'utilisation de l'eau. C'est l'un des éléments qui compose le "risque de période sans eau" évalué par les paysans pour prendre leurs décisions.

Par rapport au risque pluviométrique en culture sèche, le risque de manque d'eau d'irrigation à un moment donné résulte à la fois des aléas climatiques dans la zone de production, le haut bassin versant, des phénomènes agressifs sur les segments de transport, et de décisions humaines mettant en péril les transferts normaux: absence de régulations en cas d'accroissement brutal du débit de la rivière, surcharge du canal qui finit par céder, ou encore mise en cultures de terrain pentu au dessus du canal avec forts risques érosifs.

Cette dernière cause provient de la montée de la frontière agricole en altitude et sur les terrains marginaux, en relation avec la pression démographique, la réforme agraire, la mise à l'écart des anciens ouvriers agricoles des haciendas, ou encore le partage des terres communales.

Cependant, la cause première de ces interruptions de service doit être reliée aux problèmes d'organisation de la maintenance des réseaux abordés au point 4.7.

4.3. La répartition des ressources en eau.

L'eau disponible est répartie de manière équitable dans une ZARI ? La question mérite d'être posée connaissant les éléments suivants:

- la construction de la plupart des réseaux a été décidée, jusqu'au début du xxe Siècle, par les grands propriétaires fonciers en mobilisant la main d'oeuvre paysanne à peu de frais;
- la restructuration foncière des années 1950-1980 a maintenu la grande propriété foncière sur les terres basses et irriguées, rejetant les paysans sur les pentes difficiles à cultiver.
- la nationalisation des eaux par l'Etat et leur administration par l'INERHI depuis 1972 devait résoudre les nombreux conflits qui éclataient avec violence. Le système des concessions octroyées par l'INERHI pour dix années aux usagers devant en faire obligatoirement la demande devait permettre de faire régner une certaine équité dans les dotations.

Si on se réfère à la situation du bassin du Mira dans le nord du pays, les dotations en eau exprimées par les débits fictifs continus (litres/seconde/hectare) 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 (tableau 1).

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

Tableau 1 - Débits fictifs continus observés sur environ 200 périmètres du MIRA (débit mesuré sur superficie réellement irriguée)
source: ORSTOM-INERHI, Inventaire du Bassin du Mira, 1990.

L'inégalité en dotation peut s'expliquer par le fait qu'un certain nombre d'usagers cherchent à surdoter (dans les concessions) leurs secteurs dans un rapport qui reste raisonnable, 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, 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.

Il existe des haciendas faiblement dotées et des zones paysannes apparemment bien approvisionnées. D'ailleurs, les conflits sur l'eau ne mettent pas seulement en scène les groupements paysans contre les haciendas. On voit fréquemment les hacendados se quereller pour l'eau, et les innombrables procès pour "despojo de aguas" ("dépouillement des eaux") existant dès le XVIIe Siècle témoignent d'une grande tradition en la matière.

Certains secteurs paysans ont donc réussi à s'approprier l'eau d'irrigation en quantité globalement satisfaisante, parfois au prix de luttes difficiles et longues comme à Urcuqui.

4.4. La répartition de l'eau entre paysans: le tour d'eau.

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 complexifié du choix des générations précédentes d'usagers, basé 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 certains 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 et d'aval. Si la ressource est exédentaire, le problème n'est pas majeur, l'eau parvenant toujours aux derniers usagers. Mais si la ressource se réduit, ou que le nombre d'usagers croît et que la superficie mise en culture en saison sèche augmente, il devient un centre de préoccupations.

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.

A notre connaissance, le premier tour d'eau organisé en Equateur l'a été en 1661 dans la vallée d'Ambuqui (bassin du Mira) à la suite d'un conflit entre indiens et colons, ces derniers ayant tenté de déposséder les premiers de leurs droits d'eau. La justice coloniale a figé les droits des uns et des autres dans un tour d'eau hebdomadaire. Mais ce cas reste exceptionnel, lié à un type d'agriculture quasi-oasien (vergers de coca où l'on cultivait du coton et des légumes).

Pour l'ensemble des Andes, la période d'organisation des tours d'eau se situe de la fin du XIXe Siècle jusqu'au milieu du XXe Siècle.

C'est donc, en Equateur, un phénomène assez récent, qui correspond à la forte poussée démographique et à l'évolution de la propriété agricole.

Dans le cas de réseaux dits d' "eaux achetées" (aguas compradas), les associations se sont constituées au moment de la construction des canaux. Leurs membres ont acheté des parts qui leur conféraient 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. Il s'agissait essentiellement de sécuriser la production vivrière obtenue à partir des cultures pluviales (cycles d'octobre-avril).

Ce n'est que dans la seconde partie du XXe Siècle que les systèmes ont évolués vers une utilisation permanente de la terre, avec la disparition de jachère (barbecho), soit par le passage à des systèmes d'élevage sur prairies naturelles ou cultivées, soit par l'intensification des cultures annuelles aboutissant à des modèles de cultures continues (deux cultures par an ou trois cultures tous les deux ans).

La tension sur l'eau s'est donc 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.

Le problème s'aggrave avec l'accroissement du nombre d'irriguants. Ainsi, dans la province du Tungurahua, les associations d'irriguants comprennent fréquemment plus de 1000 membres répartis dans plusieurs paroisses traversées par de multiples conflits de toute sorte. La cinétique de la microparcélisation des terres et des droits d'eau explique une part des difficultés des juntas de l'eau : le nombre de parcelles unitaires double tous les quinze ans.

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 ?

4.5. Les organisations sociales et la maintenances des systèmes d'irrigation.

Depuis la promulgation de la loi sur l'eau en 1972, l'INERHI administre l'eau en donnant des concessions aux irriguants ou groupes d'irriguants organisés qui en font la demande (obligatoire). 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'irriguants, avec accroissement des tensions entre groupements appartenant aux mêmes systèmes d'irrigation.

Ce phénomène peut être avivé par les interventions publiques comme par les organisations non gouvernementales qui agissent sur le développement agricole, avec un clientélisme affiché. L'accroissement 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 assuré par personne.

Dans certains cas, la maintenance n'est plus correctement et régulièrement assurée, faute de consensus entre parties prenantes pour organiser les mingas (travaux collectifs), et faute de participants. Une tendance très forte de nombreux paysans est d'envoyer à leur place un journalier, préférant consacrer ce temps de travail collectif à leurs activités propres.

Même les incidents graves avec interruptions de service ne font pas toujours l'objet d'une mobilisation prompte d'une partie des usagers.

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

4.6. L'évolution des systèmes de production et la productivité agricole actuelle.

A titre d'exemple, voici la synthèse des changements intervenus dans l'étage tempéré du bassin du Mira. Un exposé systématique de tous les cas serait fastidieux. Cet étage est d'ailleurs le plus représenté dans les systèmes d'irrigation du bassin, avec plus de 12000 hectares.

Nous analyserons successivement les évolutions depuis les années 1950 pour les quatre grands groupes fonciers: les haciendas, les fincas, les petites exploitations paysannes et les minifundios. Bien entendu, il y a des exceptions dans ces trajectoires générales.

Les haciendas (plus de 50 hectares) se consacraient autrefois à la grande céréaliculture utilisant beaucoup de main d'oeuvre sous le statut de huasipungueros.

Elles ont évolué vers des systèmes d'élevage extensif sur prairies, pas toujours irriguées en totalité quand les disponibilités en eau n'ont pas changé.

La charge en bétail varie de 0.5 à 1 Unité Animale par hectare fourrager. L'exploitation fonctionne avec peu de main d'oeuvre (8 à 15 hectares par travailleur). La productivité exprimée en litres de lait produit par hectare fourrager est faible : 1500 à 3000 litres.

L'irrigation n'a pas entraîné un accroissement de la productivité agricole. Elle sert à maintenir un chargement animal faible tout le long de l'année à bas coût et sans mobilisation de main d'oeuvre.

Ce modèle fournit un produit brut de 300 à 400 dollars par hectare pour des coûts directs de 100 dollars par hectare.

Les fincas (5-50 ha) ont mis au point un système de polyculture-élevage intensif, basé sur une rotation agricole de six années où la luzerne alterne avec trois années de cultures annuelles.

L'association agriculture-élevage est forte: les fonctions de traction animale, de fertilisation et d'épargne de l'élevage bovin sont primordiales.

Le système fonctionne avec une force de travail mixte, familiale et extérieure, qui est nettement plus importante que dans les haciendas (3 à 5 ha par travailleur).

La combinaison des moyens disponibles, le taux d'usage du sol élevé, la bonne dotation en eau et la maîtrise de l'application, la recherche de semences améliorées, la fertilisation raisonnée, organique et minérale, le contrôle phytosanitaire, permettent d'atteindre un haut degré de chargement animal (supérieur à deux Unités Animales par hectare fourrager) et par là-même une productivité très supérieure à la moyenne des haciendas: 5000 à 6000 litres de lait par hectare fourrager.

Le produit brut dégagé par le modèle est voisin de 1000 dollars pour des charges directes importantes de 400 dollars par hectare.

Les petites exploitations paysannes (1-5 ha) dont la stratégie est toujours d'assurer la base alimentaire familiale, ont également des besoins monétaires indispensables pour couvrir les frais d'exploitation et les charges familiales habituelles.

En plus de la culture pluviale qui garantit l'alimentation, le maïs dans cet étage tempéré, se sont ajoutés des cultures spéculatives au premier rang desquelles figure le haricot, dont les bénéfices sont capitalisés dans un micro-élevage composé d'une ou plusieurs têtes de bétail si l'exploitation dispose de suffisamment de terre.

Le système se rapproche du précédent, mobilisant plus de force de travail (1 ha par travailleur) d'origine familiale parfois renforcée par des journaliers en période de pointe.

Malgré cela, faute de trésorerie et de crédit en avance aux cultures, la combinaison des moyens de production est moins efficiente que dans les fincas. Les semences sont prélevées sur les récoltes précédentes, la fertilisation est faible, le manque de moyen de travail général.

Ceux qui s'en sortent le mieux sont ceux qui disposent dans la famille d'une activité extérieure rémunérée mensuellement, qui devient la trésorerie de l'exploitation.

Quand il existe, l'élevage est intensif, basé sur la gestion de sous-produits des cultures. Mais la production laitière n'est pas régulièrement commercialisée, faute de structure adéquate coopérative ou privée.

Le produit brut atteint 800 dollars par hectare dont 300 sous forme de consommation directe familiale. Les charges directes de 50 dollars par hectare sont faibles car l'essentiel du travail est couvert par la famille sans rémunération.

Les minifundios (moins d'un hectare) se trouvent sous le seuil de l'autonomie alimentaire, dans les conditions du Mira. Pour subsister, les familles doivent trouver des revenus extérieurs sous la forme du travail journalier dans les autres catégories d'exploitations agricoles.

La productivité agricole est ici très faible et non monétarisée.

La situation générale des exploitations agricoles de cet étage montre comment l'irrigation a permis certaines évolutions qui ne vont pas toutes dans le sens d'un accroissement notable de la production agricole.

Seules les fincas et les petites exploitations paysannes ont sensiblement accru leur productivité, malgré les difficultés économiques, l'absence de marchés organisés, de crédit.

La grande fragilité de cette évolution provient du caractère spéculatif de la culture du haricot vendu à un prix élevé sur le marché colombien voisin en raison de taux de change favorable pour les paysans équatoriens. Il suffit que ce taux s'inverse pour remettre en question ce développement.

L'absence de culture de rente, base de négociation entre producteurs et l'Etat et le système de crédit limite la productivité que ces systèmes pourraient atteindre et la capitalisation sous forme d'outillage, de bâtiments, etc.

Le manque d'eau a des effets variables selon les catégories d'exploitation. Il ralentit les stratégies en place, par exemple en ne mettant pas toutes les terres en culture pendant la saison sèche.

L'accroissement des dotations au profit des catégories extrêmes n'aurait pas de conséquences macro-économiques importantes dans les conditions de ce bassin hydrographique et dans cet étage bio-climatique.

CONCLUSION. L'IRRIGATION : UN CHAMP D'ACTION DEVENU BANAL DANS LES ANDES.

Les communautés paysannes andines font l'objet d'une attention particulière d'organismes non gouvernementaux de différentes origines. Dans la plus part des cas, les actions accompagnent les revendications foncières des paysans, et s'appuient notamment sur les communautés constituées pour gérer des espaces collectifs. Les expériences liées à l'irrigation ont été rares jusqu'en 1980. Puis, confrontés aux demandes paysannes et comprenant que la seule institution vraiment communautaire est la Junte de l'eau, les ONG ont axées les unes après les autres leur intervention sur les réseaux d'irrigation, soit en créant de nouveaux ouvrages, comme le CESA, soit en appuyant la réhabilitation et la réappropriation de canaux anciens, comme le CAAP.

Les organismes parapublics et l'INERHI elle-même ont constitués des programmes d'appui à la petite irrigation en soupoudrant leurs faibles ressources financières selon un clientélisme certain. Ces actions au coup par coup se révèlent parfois inadaptées, coûteuses. Elles ont de graves conséquences sur la gestion d'ensemble des ressources hydriques.

Aujourd'hui, la revendication principale des mouvements paysans indiens reste bien entendu l'accès à la terre. Mais immédiatement après vient la résolution des problèmes d'irrigation (liste des revendications en 14 points du mouvement déclenché en Juin-Juillet 1990).

Chaque intervenant pense-t-il toujours continuer une action ponctuelle ou bien agir dans le cadre d'une gestion complexe appréhendable seulement au niveau de bassins versants et de Zones intégrant toute la demande en eau (ZARI) ?

BIBLIOGRAPHIE

Le Goulven P., 1986.

Elaboration du Plan National d'Irrigation; analyse de la situation et conception générale.
Quito, INERHI-ORSTOM, 04/86, 22p.

Ruf T., Le Goulven P., 1987.

L'exploitation des inventaires réalisés en Equateur pour une recherche sur les fonctionnements de l'irrigation.
in: Bull. Liaison n°12 Equateur Dpt H Paris, Orstom, pp30-47.

Le Goulven P., Ruf T., Rivadeneira H., 1989.

Traditional irrigation in the Andes of Ecuador; 1. Research and Planning ; 2. Dysfunctions and rehabilitation.

Com. 7th Afro-asian Regional Conf. of International Commission of irrigation and drainage (ICID),
Tokyo, 15-25/10/89, pp 351-371.

Ruf T., Le Goulven P., Rivadeneira H., 1990.

Principales problemas del Diagnostico sobre el riego tradicional andino en El Ecuador.
Com. Sem. Manajo del Riego Andino, Cajamarca, 20-27/01/90, 15p.

Com :
***International Workshop " Performance
measurement in farmer-managed irrigation systems "***
***International Irrigation Management Institute
IIMI/INCYTH, Mendoza (Argentina), 11-15/11/91, 10p.***

HYDRAULIC'S FUNCTIONNING OF FARMER-MANAGED IRRIGATION SYSTEMS IN NORTHERN ECUADORIAN ANDES

par Patrick LE GOULVEN^{*}, Thierry RUF^{**}

ABSTRACT

In the Ecuadorian Andes, most of the irrigated areas (between 75% and 80%) are supplied by hydraulic systems managed by farmers organized in Water Councils.

After noting their specific characteristics, the authors describe the role of this "particular irrigation" in the national economy, its historical evolution, and the productivities obtained for the main crops. The low productions observed are mostly justified by the dysfunctions in the chain of water mobilization (water supply, transport, allocation between areas, distribution and application in the parcels).

The analysis is based on precise multidisciplinary studies in representative zones, studies completed by a systematic inventory (localization, organization and characteristics of each system) elaborated on watersheds.

The presented results are issued from the study on the Mira catchment (3,500 km²) situated in the northern part of the country:

* Hydrologist, Mission ORSTOM, P.O. Box 17.11.06596, Quito - Ecuador

** Agro-economist, Mission ORSTOM, P.O. Box 17.11.06596, Quito - Ecuador

FOREWORD

Most of the irrigated surface in the Ecuadorian Andes has been managed since centuries ago by peasants organized in Water Management Councils. Very little is known about the functioning of these "FMIS" (Farming Management Irrigation System), which are now being studied by a multidisciplinary team of the French Institute of Scientific Research for Development in Cooperation (ORSTOM) and the Ecuadorian Institute of Hydraulic Resources (INERHI). The project has several chapters:

- Inventory (location, organization and characterization) of all the FMIS of the Andean region, which includes hundreds of systems that provide water to 75% of the 500,000 hectares under irrigation. Characterization is done at climatic, hydraulic and technical levels as well as at social, agricultural and economic levels.
- Hydric balances at several scales (from the water intake points to the hydrographic basin) in order to find the most deficient sectors.
- Study of several FMIS in pilot zones (Zones of Analysis and Recommendations for Irrigation) in order to discover and quantify actual performance problems and their dynamics.
- Research about real productivity reached, both at the agricultural performance level and at the production systems level (gross and net products, benefits per hectare and per worker).

The objective is the proposal of technical references and realistic recommendations to INERHI, useful for the establishment of a Plan for the support and development of FMIS (called *private irrigation* in the Ecuadorian case). Results have been fully analyzed in the northern region of the country (Mira watershed) and only the integration of the conclusions is pending.

1. STATE OF PRIVATE IRRIGATION IN THE MIRA WATERSHED

In the northern Ecuadorian Andes, the Mira watershed embraces a total surface of 348,000 hectares (ranging from 1,800 mosl to 4,200 mosl), an agricultural area of 149,000 hectares and an irrigated surface of 50,340 hectares (86% by private irrigation, 9% by State-owned irrigation and 5% by a combination of the two systems); irrigation water benefits directly 15,900 users and indirectly 158,000 inhabitants (this means half the population of the basin).

Dispersion is a main characteristic of the "FMIS":

altitudinal dispersion

Perimeters occupy 3 bioclimatic levels: the cold level (>2,700 m with 970 mm of rainfall/year and ETP of 1,020 mm/year); the temperate level (2,300 m-2,700 m with 795 mm of rainfall/year and ETP of 1,165 mm/year); and the subtropical level (<2,300 m with 540 mm of rainfall/year and ETP of 1,400 mm/year).

spatial dispersion

A total of 274 irrigation systems dam more than 20 m³/s from the rivers using 308 direct intakes (94% of a rustic construction) and take the water to 279 perimeters along 1,099 km of canals (96% over the soil).

A "mean" FMIS has an irrigation channel with 4 km of dead canal, transporting 75 l/s and irrigating a perimeter of 180 hectares where large farms, estates, small holdings and minifundia lie.

In the Mira River basin, the pilot zone of Urcuquí is one of 18 ZARI that have been historically affected by irrigation. It has 30 FMIS that irrigate 4,500 hectares in three bioclimatic levels. The oldest ZARI is the central peasant perimeter of Urcuquí-San Blas, with 320 hectares and 600 parcels. The *Big canal of Caciques* that feeds it was built in 1582. Currently its management is in the hands of three peasants' councils: Urcuquí, San Blas and Cáciques, the latter enjoying the benefit of a special treatment in the water distribution frequency.

2. ROLE, EVOLUTION AND PRODUCTIVITY OF THE FMIS

Depending on conditions for production, agriculture undergoes development or enters into crisis. It is subject to unstable and successive balances that depend on prior balances as well as on posterior factors of change in the agricultural environment.

Agriculture under irrigation has a factor that modifies environment: water. Its distribution among several groups of producers has a preponderant influence over the abovementioned balances. If a net of irrigation channels allows, at the beginning, a stability of hydric conditions in agriculture, development problems or external interventions can occur along its history that act upon agricultural activities in a big scale. Every malfunctioning takes a major importance and ends up being a life-or-death factor for productive systems, and sometimes for the people involved.

Long ago, the main goal of small farming in the Ecuadorian Andes was to feed peasants, while some large estates produced foodstuffs for the urban population that before 1970 represented a small part of the Ecuadorian population. The development of an economy based on agricultural exports in the Pacific Coast, new communications between Coast and Sierra (railroads since 1909, highways since 1930) and especially the development of a petroleum-based economy (since 1970) acted as factors of integration of the andean peasant economy to the national markets. Twentieth-century demographic explosion follows along these changes.

On the one side, land property of marginal zones went from the old large holding system (*hacienda*) to minifundia (which doesn't allow peasant families to earn a livelihood from agricultural work) while the central part of the *hacienda* stayed in the hands of the original owners and was put under extensive production systems (cattle raising on natural grass).

At the same time, part of the peasants started to build and develop new production systems, placing their products in the market as a means for payment of agricultural work.

On the other side, some *haciendas* were also turned into capitalist agricultural enterprises with important investments in machinery and buildings and changing production techniques in order to satisfy the new urban demands of the country.

And so it happened that in the fifties new productive systems appeared, a result of the prior, poorly specialized ones. Nowadays several specializations coexist in every ecologic level, sometimes contradicting one another.

In the cold level, agricultors can choose among 3 development trends: extensive cattle husbandry, staple grain cultivation (wheat or barley) and cold-level horticulture with crops like potato, onion or others, that need sustained care and work.

In the temperate level, side by side with natural grasses grow corn (basic foodstuff since long ago), cereals (wheat, barley) as in the cold level, horticulture based on beans among others, and orchard-level agriculture with avocado.

In the subtropical level the specialization on sugar cane coexists with cattle husbandry, corn, mandioc, and vegetable gardens.

If production systems have changed in the last decades, agricultural productivity, on the contrary, hasn't varied to any extent: hopes for production are still low, with or without irrigation.

Table 1 reflects this premise: beans and the most important cereals have a mean performance between 500 and 800 kg per hectare and potato has a performance between 7,000 and 10,000 kg per hectare.

These performances are the same as those expected by the first agronomists of the country in the first years of the 20th century. The stability in the wages for agricultural work confirms the stagnation of productivity (the daily wage of an agricultural worker has been the equivalent of 1 US dollar since 1945).

Productivities	Activities	Corn	Beans	Potato	Wheat	Barley
NO IRRIGATION	extensive	200-300	50-100	1,000-1,200	250-350	250-350
	moderate	350-500	150-250	3,000-6,000	400-500	500-600
	intensive	550-650	450-550	7,000-13,000	800-900	1,100-1,200
IRRIGATION	extensive	300-400	200-300	3,000-5,000	450-550	450-550
	moderate	550-650	500-600	7,000-10,000	600-800	600-800
	intensive	1,000-1,100	1,000-1,100	11,000-22,000	1,300-1,500	1,300-1,500
POTENTIAL	agronomic	4,000-4,300	2,000-3,000	18,000-36,000	2,000-2,500	2,000-1,500

Table 1 - Performances of the main crops in pure arrangement in kg/ha

There are numerous elements that can explain this low productivity, factors unrelated to irrigation ranking first.

Species and varieties used by producers generally lack quality; their productive potentials are low and their repetitive cultivation, year by year, has ended in an impressive growth of plagues. Another problem is the lack of adequate fertilization with organic fertilizers (combined use of agriculture and cattle raising is poorly applied) or chemical fertilizers. This could be related to seeds of poor quality and the lack of response to the dosages of fertilizers as used under actual production conditions.

The marketing system also doesn't encourage agricultors to engage in more intensive production; economic risks are important in front of the absence of organized markets and in the context of a very high inflation. We won't talk about assistance to peasants investment because credit aids are not available to small agricultors.

But all these problems can be found in agriculture in general. Crops under irrigation have more specific problems related to intake, transport and utilization of water, that limit the increase in productivity to a reduced level, as can be seen from Table 1. Without a prior knowledge of the location of some important limiting factors, we shall now undertake an overall analysis of irrigation systems from intake to furrow.

3. MAIN OPERATIONAL PROBLEMS IN TRADITIONAL IRRIGATION

3.1. Water application in the parcels

Most users (68%) irrigate their parcels day and night; the main technique is the use of furrows or ditches (75% of the irrigated surface). This is followed by an almost uncontrolled flooding of pastures (13% of the surface), aspersion irrigation, mainly for sugar cane and only in the *haciendas* (10% of the surface) and finally, by means of quarrymen (2% of the surface).

Generally the parcel is divided into regular lots; the peasant distributes the flow entering the parcel between them to irrigate groups ("*entables*") of 6, 8 or 10 joined furrows (depending on the available module).

But there also exist zigzagging furrows, used in steep slopes (more than 50%) that can be more than 300 meters long.

Technical elements of water distribution are most variable:

- The module used in each furrow ranges from 1 to 60 l/s (zigzagging furrows), but usually lies between 4 and 7 l/s.
- Mean irrigation time is 8 hours per hectare but values oscillate between 2 and 72 hours per hectare (the periods for 15% of the irrigated surface are greater than 12 hours per hectare).
- Frequency of application varies between 3.5 and 70 days; the mean is 14 days. In the subtropical level, 40% of the surface is irrigated with a frequency greater than 8 days. Things get a little better in the other levels, because only 16% of the surface in the temperate level has a frequency higher than 14 days (6% higher than 30 days in the cold level).

It is almost impossible to get a precise diagnosis of every perimeter with so extreme variations, especially when climatic data don't show the required consistency or simply don't exist.

However, the project has been able to determine the main characteristics for each type of irrigation (crop systems, soil depth and capacity for useful retention, monthly chronological rainfall series and ETP) and to estimate the maximal admissible frequency. This calculation is complemented by the analysis of 7 parcels that were observed daily during more than a year and where water intakes (from rainfall and irrigation), as well as superficial losses were controlled. Recollected data have been processed with IRSIS (FAO) software.

From the abovementioned analysis, irrigation frequency as practiced by farmers appears to be the most inadequate factor: it is almost always less than calculated.

Under these conditions intensive farming cannot be practiced, nor can short-cycle crops with shallow roots be used. So peasants are still adapting vegetative cycles to rainy seasons, using irrigation water only as a complement and to secure water supply.

This inadequate frequency of irrigation stems, not only from the lack of technical criteria, but also from a historic background.

3.2. Degeneration of water assignment turns

When water was nationalized in 1972, INERHI confronted the uneasy task of granting water concessions and in the majority of cases only legalized long ago-acquired rights. In those times, with only 6 years of life, the Institute did not have the institutional strength necessary to update water distribution without provoking serious protest. This means that most of the actual water assignments still obey technical criteria elaborated in the first half of the century and reflect social, technical and legal rules of that time.

But socio-economic conditions, environment and production systems have evolved, while water distribution generally has followed an inverse evolution: application frequency has grown lower due to the increment of irrigation time per hectare (in Urcuqui, this time went from 3 to 5 hours/ha in 45 years), which is due in turn to land division (because of inheritance or transactions) or to the incorporation of new users.

Accumulated historical rights have created several types of users ("normal", "*cáiques*", "third parties") whose particular requirements cause weekly modifications in the distribution. Peasant inertia and the interests of each group paralyze every idea of change, or simply the current complexity of distribution precludes water councils from clearly posing the adaptation problem.

Rehabilitation of water turns is a fundamental task of INERHI and the project is designing an adapted methodology to ease its calculation. But technical criteria must be supported by social consensus and the acceptance of peasant organizations in order to achieve success.

3.3. Water distribution

Fictitious flows also have big variations (from 0.1 l/s to 3.8 l/s) that not always follow technical criteria. In Figure 2 three big classes, uniformly distributed in the three ecological levels, can be seen. Two thirds of the irrigated surface have inadequate supply (33% with a low volume and 31% with a high volume). Only a third of perimeters have an adequate supply.

A higher water supply can be justified in the presence of salinized soils that need frequent flooding. But this situation has only been found in 5 or 6 perimeters.

Cases of deficient supply are more visible in the country and create different reactions depending on the type of production unit. A perimeter with minifundia will distribute deficit between all the users, while a big landowner will correctly irrigate part of his property, giving water to the rest only when there is a surplus. Tensions grow higher in perimeters where both types of unit coexist.

Altitudinal levels	Low dotation	Mean dotation	High dotation
Cold level > 2,700 m	0.1 l/s/ha (1,500 has) 26%	0.25 l/s/ha (2,200 has) 38%	0.4 l/s/ha (2,100 has) 36%
Temperate level 2,300 - 2,700 m	0.2 l/s/ha (5,000 has) 36%	0.45 l/s/ha (5,200 has) 37%	0.7 l/s/ha (3,800 has) 27%
Subtropical level < 2,300 m	0.3 l/s/ha (3,000 has) 33%	0.6 l/s/ha (2,900 has) 32%	1.0 l/s/ha (3,100 has) 35%

Table 2 - Fictitious flows observed in 200 irrigated perimeters and surfaces (has and %)

This lack of coincidence between allotted concessions and real needs can be explained, in the first place, by an overall lack of knowledge about private irrigation. INERHI actually knows little about irrigated surfaces (localization, extension, cultivation pattern, type of irrigation, soil characteristics, climatology). The project aims to update all these parameters with systematic inventories, mathematic modelling of cultivation and production systems, efficiency measurements and climatic regionalization. Under present conditions the Institute is technically able to readjust all the allotted volumes of the Mira watershed but will face difficulties in doing so.

In the first place, concessions are granted for 10 years and cannot be modified during this period without first modifying the Water Law. This provision is unfavorable to dynamic agricultors that have achieved an intensive production system, thus increasing their water requirements.

In the second place, a good deal of concessions have been legalized taking into account old time rights or legal buys without considering the surface to be irrigated. At the time of legalization, many users preferred to buy rights higher than their real needs, in order to insure a satisfactory supply. In addition, a surplus supply enables a comfortable margin for its utilization: an approximate irrigation can be practiced without parcel adjustments and with minimum work, which means with less costs.

Users have nowadays 20 years of concession and think of the allotted flow as inalterable property. In order to establish balanced concessions within a technical criterion and in accordance to the evolution of agriculture, INERHI must show a firm political will to enlist social acceptance of the modifications and to achieve legal modifications without being afraid of electoral consequences.

3.4. Intake and transport infrastructure

Development of production in FMIS is closely related to the infrastructure of water intake, transport and distribution. A farmer won't try to intensify his production (improved seeds and fertilizers, summer crops,...) if he isn't sure of having water, at least in reasonable amounts and frequencies.

This depends heavily on the good performance of transport channels (mostly lying right on earth) and of places of intake which are mainly made by heaping stones in the shore (we call them rustic intakes).

Performance estimates are done taking 2 fundamental aspects into account: the percentage of time that the channels provide the anticipated flow, and their efficiency in conducting water from the intake to the entrance of the perimeter. In both cases the goal is to find meaningful indicators so as to design adequate recommendations for a policy seeking the systematic rehabilitation of the traditional irrigation systems.

3.4.1 Infrastructure performance

Around 60 limnometric reglets are placed in several representative irrigation systems along the interandean valley. Water levels are observed twice a day during at least one year and the causes of problems are registered. Although results vary from reglet to reglet, the following conclusions may be made:

- During 5% of the time (18 days per year) channels don't transport any flow.
- During 16% of the time (58 days per year) channels transport less than half the normal flow.
- During 32% of the time (117 days per year) the transported flow is less than 75% of the normal flow.

Detected problems stem from two main causes: landslides and destruction of intakes.

But a detailed analysis, supplemented with interviews to water-carriers, shows that, even if rustic intakes are destroyed several times a year, they can be fixed in only half a day (with the work of 2 persons), so their destruction disturbs the water turn but doesn't cause excessive damage to the farmer.

On the contrary, landslides upset water transportation for several days (sometimes more than 15 days) and are the real cause of lack of water.

These landslides are caused by (in order of importance):

- Excessive load and breaking of the irrigation channel due to the lack of control means (lateral relief) after the intake and along the course of the channel.
- Sliding of fragile parts that clog the flow, causing overflowing and rupture of the channel,
- Rupture of a channel at a higher altitude; its water destroys other channels lying down the way.

3.4.2 Transport efficiency

Several sections (25) of the channels have been selected based on their longitude and flow (more than 100 l/s). With a permanent regime, simultaneous gaugings are done at the start and end of the section and also before and after each alteration (superficial increase, located loss), in order to differentiate between global efficiency and strictly linear efficiency. Also the parts that need rehabilitation are registered.

Results are amazing!

Linear efficiency (without taking into account isolated modifications) has a mean value of 99,7%/km (ranging from 89% to 111%/km) and global efficiency has a mean value of 99,9%/km (ranging from 85% to 121%/km).

Efficiency values are not related with the type of soil traversed, nor with maintenance of the brook, but seem to have a slight relation with channel altitude (higher ones having a higher efficiency, always more than 1,005/km).

Results of the sample are confirmed all along the Mira watershed. In the legal concession process, INERHI technicians register their observations about the conditions of the channels. Only 11 verdicts make reference to important losses due to filtration in short sections. Besides, and taking into account the 274 existing systems, there is no correlation between the extension of conduction channels and transported flow; this means that any amount of water can be transported over any number of kilometers.

Although channels do lose water along their path (losses can be noticed by the heavy growth of vegetation along their borders), they do also receive sub-superficial increments that are not noticed.

There exists a heavy stratum of cemented volcanic ash – "*cangahua*" or "*talpetate*" in Central America– at shallow depths (several meters to several centimeters), impermeable except through cracks. The excess water that falls over higher parts (or "*páramos*"), where precipitation is higher, cannot penetrate deeply and flows over this hardened mass, entering the hydrographic net at lower altitudes.

So irrigation channels act as a draining net and dam a good deal of this sub-superficial drainage. In this case it is normal for higher portions to receive a larger volume of water, that step by step is later reintegrated to the hydrographic net.

In what refers to improvement works, it is estimated that only a mean of 5 meters by kilometer of channel need rehabilitation (dikes, embankments, small tunnels,...).

Studies about transport and intake infrastructure show that the building of modern inlets (generally of the "*caucasian*" type) and the systematic coating of traditional channels are expensive and have a limited interest. State should lower its inversion in these two items and concentrate it more on:

- the installment of lateral watersheds to avoid overloads;
- joining channels with similar paths;
- doing specific, small repair works to reinforce weak portions of the channels that can be easily located through water carriers.

3.5. Water supply

Lack of water in a third part of the irrigated surface not always obeys to an erroneous estimation of the demand, but also to lack of water from the river. It is evident that the State overestimates hydric resources, generally to justify the building of projects.

In private irrigation, this lack of coincidence between demands and resources stems from an ignorance of hydrologic characteristics that is a consequence of a bad distribution of the hydrometric net and of the lack of consistent studies. Before aproving a water concession, INERHI makes only one determination (during the summer) in the selected place of the river.

In order to have the best possible estimation of existing superficial hydric resources in any point of the hydrographic net, the project designed several basic operations:

- A spatial structuration distributed in demand zones (ZARI) and intake zones (hydrologically homogeneous microbasins). This zonification corresponds to a micro-regional level.
- A linear codification of the various intakes that places them exactly over the hydrographic net and estimates their mutual influences.
- A climatic regionalization (rains, ETP), based on the regional vector model that allows the generation of statistically possible monthly chronologic series in any point of the region.
- Simultaneous callibration of a rain-flow transformation model over the microbasins.

This methodological effort has achieved good results in the first three phases; the fourth is being completed. It also allows for the making of concrete diagnoses over hydroclimatic nets.

3.6. Structure of Water Councils

Water Councils sometimes exist since a century or more. They have always had several main functions:

- Determining the rules for the water turns
- Registering each family's rights
- Organizing distribution by sectors and watering places
- Administering daily distribution through paid water-carriers
- Reinforcing the application of rules and registers and penalizing infractors in several ways
- Organizing regular maintenance of the works and channel beds, generally through calls for working meetings (*mingas*), with the assistance of users, depending on their rights.
- Solving minor and major incidents
- Financial administration of all these activities

Problems found at this level can be traced to a certain weakening in the power of the Councils.

On the one side, the Water Law gave part of the Councils' functions to the Regional Water Administration of INERHI. This particularly includes concessions (of water turns and particular intakes, in those times), control and sanctions (that now must go through a long administrative process).

On the other side, external interventions also contribute to an atomization of power; this means there exists a tendency to divide irrigation organizations into smaller ones that don't obey a central Council in problems related to water management and maintenance. Because of this, everyday conflicts occurring in a water distribution system don't have an adequate and clear answer for both parties. On the contrary, these conflicts can degenerate and even end up in "water wars" between communities or groups of users.

Technical rehabilitation of FMIS must be joined with a structuration and "profesionalization" of peasant organizations, in order to establish a certain uniformity in water management.

4. CONCLUSION

Irrigation has not been able to substantially raise the productivity of traditional systems.

The rehabilitation of these systems requires first of a detailed knowledge of their functioning, based on multidisciplinary and precise scientific studies and not in aprioristic conclusions.

Modern techniques like satellite imaging can contribute with interesting information, although the scattering of small parcels in steep slopes difficults its use (an essay with the SPOT satellite is in process).

But, as has been proved, water management also obeys to inherited social rules that don't fit in the actual situation and that in many cases prevent any evolution of productive systems.

As a consequence, technical rehabilitation must be joined with a social change through the Water Councils, the only peasants' organizations able to introduce the necessary modifications.

This means reinforcing the Water Councils, therefore means modifying State intervention from the institutional and legal point of view.

5. BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- LE GOULVEN, P. 1986. *Elaboración del Plan Nacional de Riego; análisis de la situación y concepción general*. Quito, INERHI-ORSTOM, 04/86, 22 p. (Fr., Sp.).
- RUF, T.; LE GOULVEN, P. 1987. La utilización de los inventarios realizados en Ecuador para investigar el funcionamiento del riego particular, in *Bulletin de liaison* No. 12, "Equateur", Dpt. H, Paris, ORSTOM, 06/87, p. 30-47 (Fr., Sp.).
- LE GOULVEN, P.; RUF, T.; RIVADENEIRA, H. 1987. *Metodología general y detalles de las operaciones del proyecto INERHI-ORSTOM.*, Quito, INERHI-ORSTOM, 06/87, 91 p. plus annexa (Fr., Sp.).
- RUF, T.; RIVADENEIRA, H. 1987. *Selección de micro-cuencas representativas en la Sierra*. Quito, INERHI-ORSTOM, 30 p. plus annexa (Fr., Sp.).
- RUF, T. 1987. *Usted dijo "Sistemas de Producción", yo comprendí "Sistemas de Producción"*, *Ensayo sobre el análisis de los conceptos y de los modos*. Conference, Seminar over Agrarian Systems in Peru, Lima, UNALM-ORSTOM, 10/87, 39 p.
- LE GOULVEN, P. 1988. *Homogeneización de los datos pluviométricos*. Conference to the National Institute of Meteorology and Hydrology of Ecuador (INAMHI), Quito, INERHI-ORSTOM, 17/03/88, 23 p.
- LE GOULVEN, P. 1988. *El vector Y.B.M., resumen metodológico; programas V1, V2, V3, manual del usuario*, Quito, INERHI-ORSTOM, 10/88, 14 p.
- LE GOULVEN, P.; ALEMAN, M.; OSORNO, I. 1988. *Homogeneización y regionalización pluviométrica por el método del vector regional*, Comm. V Ecuadorian Congress of Hydraulics, Quito, 23-26/11/88, p. 59-83.
- LE GOULVEN, P.; RUF, T.; RIVADENEIRA, H. 1989. *El Agua y el Campesino*, Conference to the Seminar of the International Center of Cooperation for Agricultural Development (CICDA), Cuenca, 17/06/89, 25 p.
- LE GOULVEN, P.; RUF, T., RIVADENEIRA, H. 1989. *Traditional irrigation in the Andes of Ecuador, (1) Research and Planning*. Comm. Seventh Afro-Asian Regional Conference of the International Commission on Irrigation and Drainage (ICID). Tokyo, 15-25/10/89, p. 351-361.
- LE GOULVEN, P.; RUF, T., RIVADENEIRA, H. 1989. *Traditional irrigation in the Andes of Ecuador, (2) Dysfunctions and Rehabilitation*. Comm. Seventh Afro-Asian Regional Conference of the International Commission on Irrigation and Drainage (ICID). Tokyo, 15-25/10/89, p. 362-371.
- RUF, T.; LE GOULVEN, P., RIVADENEIRA, H. 1990. *Principales problemas del diagnóstico sobre el riego tradicional andino en el Ecuador*. Seminar on Andean Irrigation Management, Cajamarca, 20-27/01/90, 15 p.
- LE GOULVEN, P.; RUF, T. 1990. *El agua y su manejo en la planificación del riego tradicional en los Andes ecuatorianos*. Comm to the Fifth Hydrologic Journeys of Montpellier, ORSTOM, Montpellier, 12-13/09/90, 22 p.
- SABATIER, J.-L.; RUF, T.; LE GOULVEN, P., 1991. *Dinámica de los sistemas agrarios antiguos regados, representaciones sincrónicas y diacrónicas. El ejemplo de Urcuquí en Ecuador*, in *Les Cahiers de la Recherche Développement*, August 1991, Montpellier, CIRAD/DSA.

Com :
VIII èmes Journées Hydrologiques
“ Régionalisation en Hydrologie - Application
au développement “
ORSTOM/ Montpellier, 22-23/09/92, 16 p.

REGIONALISATION CLIMATIQUE (PLUIE ET ETP) DANS LES ANDES ECUATORIENNES

Méthodologie, résultats et applications.

par Patrick LE GOULVEN*, Miguel ALEMAN**

RÉSUMÉ

En Equateur, la majeure partie des projets hydro-agricoles pâissent d'une mauvaise adéquation entre dotation en eau attribuée et besoins réels. Cela génère évidemment des problèmes de fonctionnement dans les systèmes irrigués mais aussi une concurrence très forte sur la ressource en eau. Cette inadéquation s'est perpétuée par le poids de l'histoire mais surtout en raison d'une méconnaissance profonde des paramètres climatiques qui conditionnent l'estimation des ressources comme celle des besoins.

Pour y remédier, le projet INERHI-ORSTOM s'est attelé à l'élaboration d'une régionalisation climatique préliminaire des bassins inter-andins, capable de générer des séries chronologiques mensuelles de pluie et d'ETP en tout point de l'espace étudié.

Pour ce faire, l'équipe utilise la méthode du vecteur régional à travers le logiciel CLIMAN construit à partir de l'algorithme de calcul de Y. Brunet-Moret. Les produits obtenus consistent en cartes contenant isolignes moyennes annuelles et régions climatiques homogènes avec leurs vecteurs associés.

Les séries générées sont utilisées dans les calculs de besoins et de ressources en eau, pour diagnostiquer le réseau des stations et proposer une classification climatique à différents niveaux.

La communication traite des résultats obtenus dans le bassin du Mira.

* Hydrologue, Mission ORSTOM, Apartado 17.11.06596, Quito - Équateur

** Ingénieur Civil, INERHI, Juan Larrea, Quito - Équateur

INTRODUCTION

L'histoire de l'eau dans les Andes équatoriennes est jalonnée d'une longue série de conflits, clairement identifiés grâce aux archives laissées par l'administration coloniale depuis le XVIème siècle, mais qui existaient probablement déjà du temps des Incas étant donné l'importance de la gestion de l'eau dans le vocabulaire Quichua.

Au cours des XIXème et XXème siècles, l'essor démographique ne fait qu'aggraver la situation : le parcellement des terres entraîne une division des droits d'eau et donc une pression encore plus forte sur la ressource, l'émergence de concentrations urbaines et la construction des premiers ouvrages hydro-électriques viennent créer d'autres besoins qui rentrent en concurrence directe avec une utilisation jusqu'à lors agricole.

L'Etat est intervenu très tôt pour tenter d'harmoniser la gestion de la ressource hydrique, d'abord pour tenter d'imposer la législation espagnole (premiers décrets de Charles Quint en 1535), puis pour mettre en place une juridiction propre (lois de 1832, soit 2 ans seulement après l'avènement de la République), enfin pour nationaliser l'ensemble des ressources en eau en 1972 et créer l'Institut Equatorien des Ressources Hydriques (INERHI), seul gestionnaire habilité.

Malgré ces multiples interventions, la répartition de l'eau reste un problème d'actualité. Bien que les affrontements violents aient diminué, les conflits persistent et il n'est pas rare de voir l'INERHI assailli par des communautés paysannes en colère. En agriculture irriguée, les inégalités n'ont pas disparu car les dotations vont du simple au triple pour des périmètres situés dans des zones climatiques identiques et occupés par des systèmes de culture similaires.

Des grandes villes manquent d'eau et la production hydro-électrique n'arrive pas à faire face aux besoins dès qu'une petite sécheresse apparaît.

En fait l'Etat n'a jamais réussi à appliquer une politique de gestion raisonnée de la ressource en eau et à s'affranchir peu à peu du poids des traditions en vigueur qu'il a en grande partie reconduites en les légalisant.

Cela dénote bien évidemment un manque de volonté politique face à un thème aussi sensible, mais aussi et surtout un manque de données de base précises qui permettraient d'élaborer des propositions concrètes et indiscutables en vue d'un aménagement rationnel.

1. REGIONALISATION CLIMATIQUE : OBJECTIFS ET METHODE

C'est pour remédier à ces carences que, depuis 1987, l'ORSTOM et l'INERHI se sont associés pour lancer des études détaillées sur les caractéristiques et le fonctionnement des systèmes irrigués andins afin de fournir une base scientifique et technique qui justifie et oriente la mise en place d'un Plan national d'Irrigation à court, moyen et long terme.

1.1. Objectifs

Le volet purement hydrologique du projet est évidemment basé sur des comparaisons entre besoins et ressources, non seulement au niveau des prises actuelles mais tout au long du réseau hydrographique pour prévoir différents scénarios d'évolution.

Ces comparaisons sont structurées sur différents espaces emboîtés, définis pour satisfaire aussi bien les planificateurs que l'ensemble des thématiques abordées :

- bassins hydrographiques fermés par une station hydrométrique de contrôle et contenant tous les systèmes d'irrigation (niveau régional).
- ZARI (Zones d'Analyse et de Recommandations pour l'Irrigation) qui contiennent toute la chaîne de mobilisation, transport, distribution et utilisation de l'eau et sont délimitées en fonction des infrastructures existantes et des accidents de relief (étude des caractéristiques et de l'évolution des systèmes de production et de la demande en eau).
- bassins versants d'environ 50 km² dans lesquels les facteurs conditionnels de l'écoulement (pente, perméabilité, caractéristiques et occupation du sol) sont à peu près homogènes (Dubreuil, 1972). Un modèle pluie-débit est calé sur chacun d'entre eux.

Etant donné la grande dispersion des périmètres irrigués, répartis dans 3 étages altitudinaux soumis à des conditions climatiques différentes, il est évident que l'élaboration (selon les conditions précédentes) d'un schéma de gestion des ressources en eau requiert une connaissance précise de la répartition spatiale des caractéristiques hydrologiques.

Cette connaissance doit être complétée par une bonne appréhension des variations chronologiques des paramètres étudiés si l'on considère la grande variabilité de la pluie (saisonnnière et interannuelle) et l'existence de tendances à la sécheresse rencontrées dans les séries pluviométriques de certaines régions (Pourrut, 1986), phénomène qu'il est logique d'intégrer dans une planification à long terme.

On voit donc tout l'intérêt d'une étude climatique préliminaire au niveau régional. Du point de vue agronomique la pentade ou la décade est un intervalle de temps adéquat pour une telle étude, mais si l'on tient compte des données disponibles (et bien évidemment manuscrites), du volume d'information et du cadre de planification dans lequel se déroule le projet, le choix d'un pas de temps mensuel paraît raisonnable.

La régionalisation climatique proposée a donc pour objectif de générer en tout point de l'espace étudié des séries chronologiques mensuelles homogènes de pluie et d'ETP.

1.2. Méthode utilisée

Le réseau des stations pluviométriques et climatiques est récent dans son ensemble (de nombreuses stations ont été installées aux alentours de 1965). Il est géré par plus de 30 organismes publics ou privés ayant chacun ses préoccupations, ce qui explique en partie sa mauvaise répartition tant spatiale qu'altitudinale. La seule utilisation des données du réseau n'est pas suffisante pour apprécier correctement les variations spatiales des paramètres recherchés.

1.2.1. Zones pseudo-proportionnelles et vecteurs

La méthodologie utilisée est basée sur la délimitation de zones homogènes à l'intérieur desquelles les valeurs des paramètres climatiques sont à peu près proportionnelles pour un intervalle de temps donné. A l'intérieur d'une zone pseudo-proportionnelle, chaque paramètre peut être caractérisé par une série unique représentative de son organisation chronologique interne.

L'espace délimité se restreint si l'on diminue le pas de temps (de l'année au mois par exemple) ou si l'on exige une liaison pseudo-proportionnelle plus forte à l'intérieur de la zone.

Les définitions précédentes constituent la base théorique des "vecteurs régionaux" qui sont des séries chronologiques homogènes générés à partir des mesures observées aux stations appartenant à la zone climatique considérée, mesures qui peuvent être incomplètes ou erronées sans que cela influe beaucoup sur l'élaboration du vecteur.

A l'heure actuelle, il existe 2 algorithmes de calcul, développés à l'ORSTOM : le vecteur régional de G. Hiez (1977) et le vecteur des indices annuels de précipitation de Y. Brunet-Moret (1979). Leurs fondements théoriques sont exposés dans les articles cités en bibliographie, on n'insistera donc pas sur ce point.

Le projet INERHI-ORSTOM utilise le logiciel CLIMAN développé à partir de l'algorithme de calcul de Brunet-Moret. Le programme fonctionne au pas de temps mensuel (analyse et corrections) et peut traiter tous les paramètres climatiques (pluie, température, insolation, humidité relative, vent, évaporation du bac) ainsi que les débits moyens.

Il permet d'abord de détecter, corriger ou supprimer les erreurs systématiques des séries chronologiques étudiées (phase d'homogénéisation), puis de rechercher les limites des zones climatiques homogènes (phase de régionalisation) pour lesquelles il génère une série chronologique représentative d'indices mensuels et annuels.

La pseudo-proportionnalité d'une zone est mesurée par la valeur des coefficients de corrélation moyens (annuel et mensuel) entre les stations et leur vecteur. Après plusieurs essais, on considère une zone comme homogène si ces coefficients sont supérieurs ou égaux à 0,9 (ou lorsqu'ils sont proches de 0,9 lorsque la faible densité du réseau ne permet pas de réduire la zone).

En théorie, il est possible de regrouper l'homogénéisation et la régionalisation en un seul passage. La visualisation des courbes de doubles cumuls entre stations et vecteur permet de déterminer si une mauvaise liaison entre les deux (coef. de corrélation faible) provient d'erreurs systématiques ou de non appartenance de la station à la zone homogène considérée.

Cependant comme le programme est manipulé par de nombreuses personnes, nous préconisons les 2 phases d'analyse pour éviter les erreurs de diagnostic.

Dans la phase d'homogénéisation, on resserre le plus possible les espaces étudiés pour être certain de ne prendre en compte que des stations appartenant à la même zone homogène.

1.2.2 . Climat et altitude

Les calculs antérieurs permettent de délimiter des zones climatiques homogènes représentées par des vecteurs de valeurs mensuelles et annuelles relatives pour la pluie et l'ETP, calées arbitrairement sur une valeur moyenne annuelle de 1000 mm.

Il reste à déterminer les valeurs absolues, ce qui est réalisé par une étude fine des relations pluie-altitude et ETP-altitude.

Ces relations sont loin d'être uniformes dans un grand bassin hydrographique et dépendent également des mécanismes climatiques prépondérants. La connaissance du climat est indispensable pour repérer les zones de validité des relations rencontrées qui recouvrent en général plusieurs des zones pseudo-proportionnelles.

Dans la pratique, il y a va-et-vient entre les 2 analyses.

Le produit final est une carte d'isohyètes (ou d'isoplètes) moyennes annuelles sur laquelle viennent s'ajouter les zones pluviométriques (ou climatiques) homogènes délimitées, chacune d'entre elles étant représentée par un vecteur d'indices mensuels et annuels.

A partir de là, il est possible de générer rapidement une série chronologique mensuelle en chaque point de l'espace étudié.

2. REGIONALISATION PLUVIOMETRIQUE DANS LE BASSIN DU MIRA

2.1. Présentation générale du bassin (Fig 1)

La partie supérieure du bassin est entièrement située dans le couloir interandin équatorien. Elle contient tous les systèmes d'irrigation et est fermée par une station hydrométrique de bonne facture (FF. CC. Carchi).

L'altitude de ce bassin de 3500 km² varie entre 1500 et 4500 m, selon 3 grandes vallées principales bien dessinées (Chota, Ambi, Apaqui) auxquelles s'ajoutent un grand nombre de vallées secondaires plus ou moins perpendiculaires.

Il est évidemment soumis à l'influence de la Zone de Convergence Intertropicale, à celle (bien atténuée par la cordillère occidentale) des masses d'air en provenance du Pacifique vers lequel il est tourné, et à celle (en partie bloquée par la cordillère orientale) des alisées du sud-est pendant l'été (juillet-août). Il ne faut pas non plus oublier les mouvements de masses d'air locales dont l'amplitude varie selon la profondeur des vallées, leur largeur et leur exposition.

La combinaison de ces différents phénomènes plus ou moins altérés par le relief, génère un régime pluviométrique bimodal, sur lequel sont calés les cycles cultureux.

On y distingue 3 étages bioclimatiques :

- l'étage froid au-dessus de 2700 m (pluie/ETP de 970/1025 mm par an),
- l'étage tempéré situé entre 2300 et 2700 m (pluie/ETP de 795/1025 mm par an),
- l'étage subtropical en dessous de 2300 m (pluie/ETP de 540/1405 mm par an).

L'irrigation est utilisée comme complément pour assurer la production d'une région à vocation agricole qui exporte une bonne partie de sa production vers la Colombie.

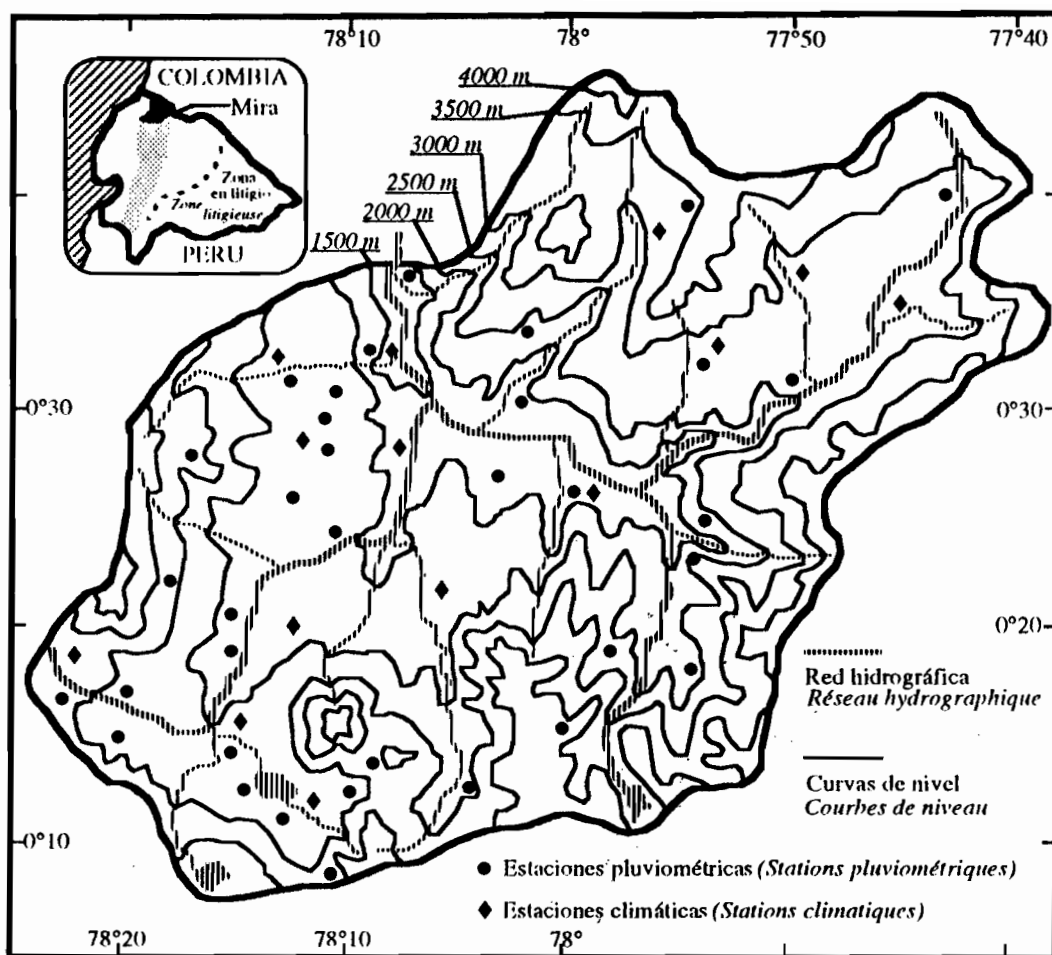


Figure 1 - Bassin du Mira - Oro-hydrographie - Stations pluviométriques et météorologiques

Les 50 000 ha de terres irriguées (293 périmètres) sont alimentés en eau par 270 systèmes, à travers 1164 kms de canaux (91% en terre) qui dérivent un débit total de 26,2 m³/s. Les autres prélèvements (eau potable, abreuvoirs,...) représentent seulement un débit de 1,3 m³/s. Sur les 295 000 habitants du bassin, 158 000 (51%) sont concernés par l'irrigation.

Les haciendas prédominent dans l'étage froid (prairies, orge et pomme de terre) et dans l'étage subtropical (canne à sucre, luzerne et maraîchage). L'étage tempéré est occupé en majorité par les minifundios (polyculture à base de maïs-haricot).

2.2. Homogénéisation des séries

Dans le cas du Mira, 76 stations présentent un intérêt pour l'analyse climatique : 65 sont situées sur le bassin et 11 sur des bassins voisins pour mieux appréhender les influences extérieures. En réalité, 54 stations seulement sont retenues, les autres présentant trop de lacunes dans les observations ; elles totalisent 1059 années complètes, soit une moyenne de 20 ans par station (1966-1985).

Elles sont regroupées en fonction de leurs périodes d'observation et de leur appartenance à une même zone homogène. Un groupe peut être modifié et resserré au cours de la phase d'homogénéisation si un doute se présente sur l'appartenance à cette zone.

Les erreurs systématiques sont détectées au niveau de chaque groupe (d'abord sur les valeurs annuelles puis sur les mensuelles), par l'étude des doubles cumuls stations-vecteur et l'analyse des paramètres de détection fournis par CLIMAN .

Elles sont alors ou simplement annotées (valeurs douteuses), ou corrigées (substitutions ou déplacements d'appareils) ou encore supprimées (valeurs incohérentes).

Le diagnostic est vérifié sur le terrain ou dans les fichiers historiques des stations. Une fois validé, CLIMAN affiche l'allure des doubles cumuls station-vecteur avant et après correction et fournit une note de qualité d'observation échelonnée de 0 à 10.

Sur l'ensemble des stations, 11 599 valeurs mensuelles de pluie ont été examinées, 192 sont annotées comme douteuses, 1443 sont corrigées et 666 éliminées pour incohérence. On obtient 50% des stations avec une note supérieure à 9 et 20% avec une note inférieure à 5. La correction de longues périodes (dues aux changements d'emplacements des stations) est responsable des notes les plus basses, à l'exception des 2 plus mauvaises où les valeurs sont globalement incohérentes.

2.3. Relations entre pluie et altitude (Fig 2a et 2b)

L'altitude est considérée comme le facteur prépondérant des variations climatiques (Le Goulven, 1984). Les relations pluie-altitude sont étudiées en remontant les vallées principales depuis la partie basse des bassins. Puis on s'intéresse aux vallées secondaires.

Cette analyse s'accompagne d'une bonne connaissance du climat local et de la direction générale des masses d'air. On n'hésite pas à tenir compte des caractéristiques de la végétation naturelle lorsque la densité des stations n'est pas suffisante ou que leur répartition spatiale est inadéquate.

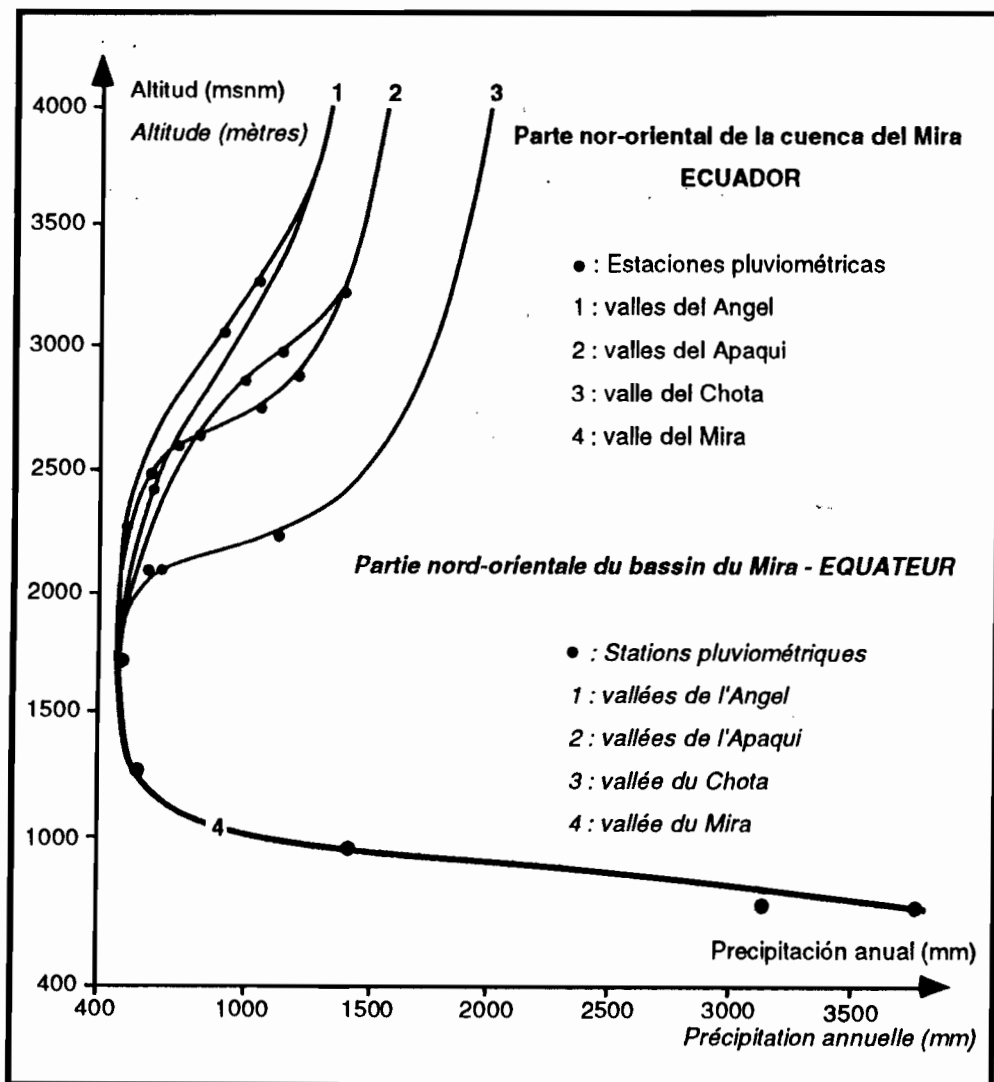


Figure 2a - Bassin du Mira - Partie Nord-Est - Relations Pluie-Altitude.

Dans le cas du Mira (fig 2a et 2b), on aboutit à des tendances principales correspondant aux 3 grandes vallées signalées dans la description générale du bassin hydrographique, avec des variations de gradient selon les vallées secondaires transversales.

La partie basse du bassin (vallée du Chota) correspond au minimum pluviométrique (moins de 500 mm de pluie par an). La partie Est et Nord du bassin (vallée de l'Apaqui) contient 4 courbes de même tendance mais décalées selon les différentes vallées transversales (vallées del Angel dans le cas présent).

La partie ouest et sud-ouest (fig 2b) qui correspond à la vallée principale de l'Ambi et à une vallée secondaire assez importante (Blanco) est mieux abritée. Elle est donc soumise à des gradients plus faibles.

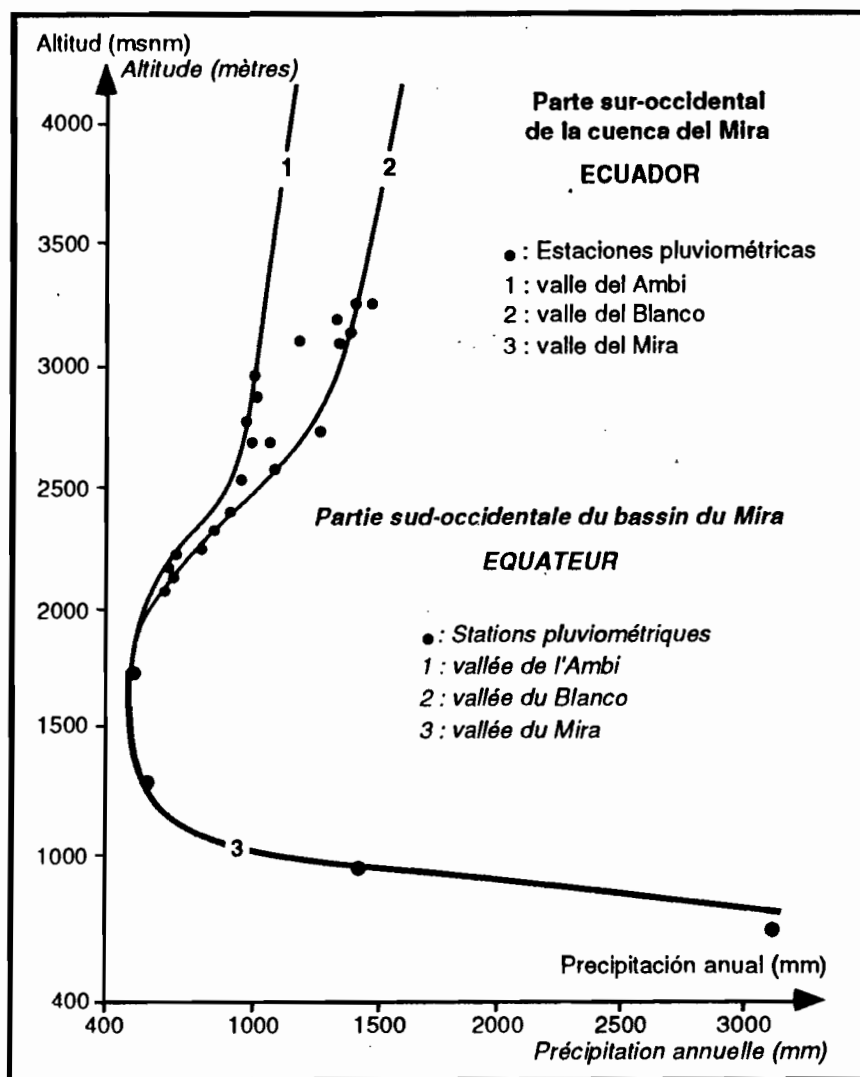


Figure 2b - Bassin du Mira - Partie Ouest et Sud-Ouest - Relations Pluie-Altitude

Dans les 2 cas, on notera qu'au-dessus de 3000 m d'altitude, les courbes ne sont pas très précises en raison du manque de station. Elles ont été tracées en tenant compte des courbes calculées sur des bassins voisins et de la végétation naturelle.

La surface située au-dessus de 3000 m occupe environ 30% de la superficie totale du bassin et reçoit la plus grande partie de la pluie. Toute erreur sur les totaux pluviométriques de cette zone entraînera donc des imprécisions encore plus grandes dans le calcul des ressources hydriques.

La partie inférieure commune aux 2 courbes correspond à la descente du Mira sur le flanc occidental de la cordillère. Elle est bien exposée aux masses d'air du Pacifique qui génèrent des gradients pluviométriques très importants.

En poussant l'analyse jusqu'aux stations côtières, on rencontre un maximum pluviométrique de 4000 mm de pluie annuelle aux environs de 700 m (alors que ce maximum se situait entre 1200m et 1800m d'altitude en Colombie).

Ces courbes permettent de tracer avec assez de précision les isohyètes moyennes annuelles, vallée par vallée (cf Fig 3).

2.4. Régionalisation (Fig 3et 4)

La module de régionalisation de CLIMAN utilise les fichiers de données corrigées. Après la phase d'homogénéisation, il ne reste que 48 stations de qualité suffisante.

Ces stations sont regroupées selon la proportionnalité de leurs valeurs (annuelles puis mensuelles) respectives, en essayant de constituer des régions climatiques dans lesquelles le coefficient de corrélation moyen entre stations et vecteur soit proche ou supérieur à 0,9. Les courbes pluie-altitude sont utilisées pour dégrossir le problème.

Le traitement des stations restantes aboutit à la constitution de 8 groupes homogènes et donc de 8 vecteurs. On constate d'abord que l'objectif proposé est atteint, puisque le plus petit coefficient de corrélation moyen est de 0,87.

Le groupe 1 obtient les résultats les plus faibles. Deux stations seulement appartiennent au bassin proprement dit, les deux autres sont situées un peu plus haut, dans un bassin voisin partagé par la frontière avec la Colombie et sur un versant orienté vers le nord. Les 4 stations sont dispersées et insuffisantes pour définir un vecteur plus représentatif.

Région 1 coef mensuel = 0.87 4 stations annuel = 0.88	Région 5 coef mensuel = 0.91 8 stations annuel = 0.90
Région 2 coef mensuel = 0.91 4 stations annuel = 0.91	Région 6 coef mensuel = 0.90 5 stations annuel = 0.91
Région 3 coef mensuel = 0.88 3 stations annuel = 0.93	Région 7 coef mensuel = 0.97 10 stations annuel = 0.95
Région 4 coef mensuel = 0.89 4 stations annuel = 0.91	Région 8 coef mensuel = 0.89 10 stations annuel = 0.93

Coefficients de corrélations moyens entre stations et vecteurs de chaque zone

Le groupe 3 obtient des résultats moyens, mais le vecteur de cette région est calculé à partir de seulement 3 stations (valeur limite) assez éloignées.

Par contre, on notera la très bonne homogénéité du groupe 7, dont la plupart des stations font partie d'une vallée secondaire (rio Blanco) dans laquelle l'Institut Météorologique National gère un grand bassin versant expérimental. Les stations sont plus nombreuses qu'ailleurs, assez regroupées et mieux observées puisque 8 d'entre elles ont une note de qualité égale à 10.

Dans ce groupe, seules 2 stations présentent des coefficients inférieurs à 0,9 : la station 323 en corrélation annuelle et la station 875 en corrélation mensuelle. Dans la première, 76 mois sont corrigés et 12 mois éliminés ce qui laisse planer un certain doute sur la qualité de ses données, la deuxième possède la plus petite période d'observation (6 ans), ce qui donne peu de signification à la valeur de son coefficient de corrélation.

De manière générale, on s'aperçoit que les résultats d'un groupe sont d'autant plus inégaux que le nombre de stations est faible. Les zones dans lesquelles les phénomènes climatiques sont les plus complexes sont également et malheureusement les moins couvertes par le réseau.

Les limites des régions pluviométriques pseudo-proportionnelles (figure 3) sont tracées en fonction des groupes constitués et en tenant compte des limites altitudinales et des accidents de relief qui séparent les différentes vallées .

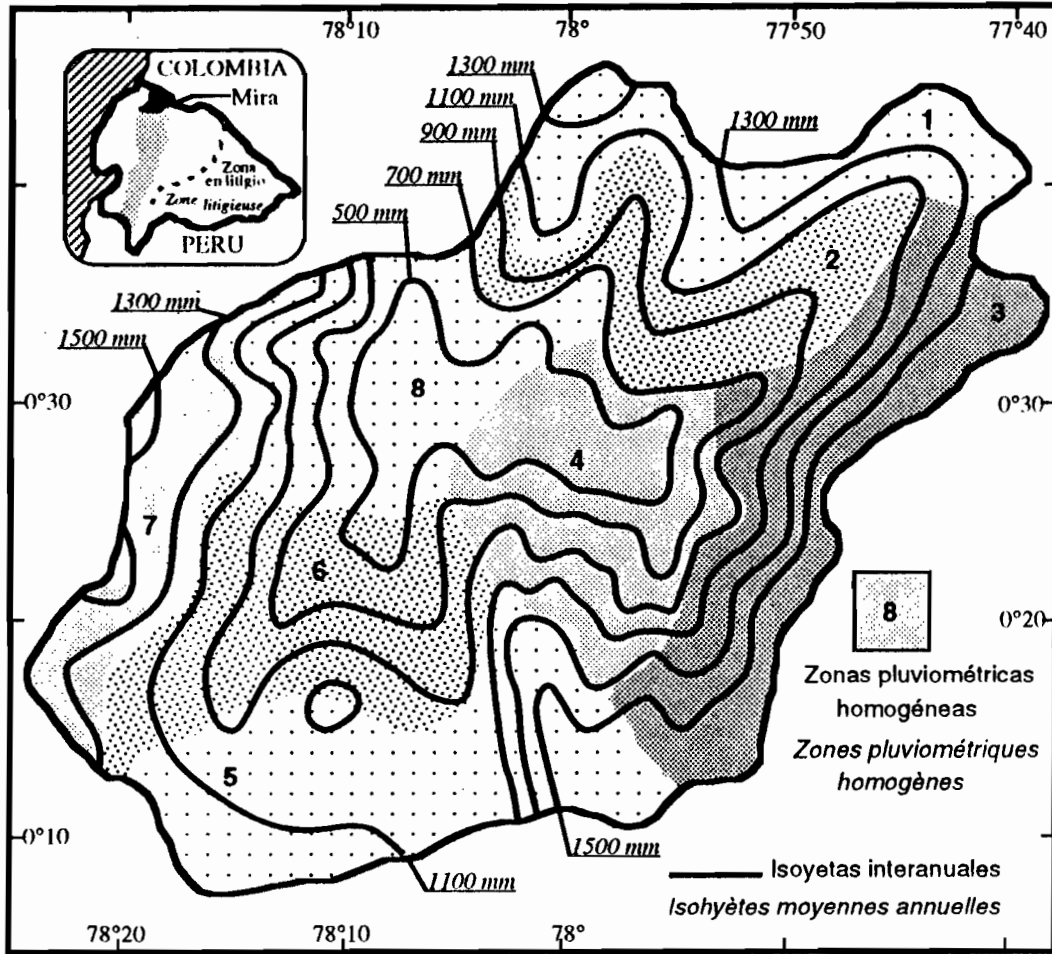


Figure 3 - Bassin du Mira - Isohyètes moyennes annuelles - Zones pluviométriques pseudo-proportionnelles

Les régions 8, 4 et 6 correspondent à la partie basse des 3 vallées principales (Chota, Apaqui et Ambi) séparées par des retrécissements bien marqués (entre 8/4 et entre 8/6) ou par des lignes de crêtes importantes (entre 4/6). La région 5 correspond à la partie supérieure de la vallée de l'Ambi séparée du bassin inférieur par le volcan Imbabura. Ces accidents de relief modifient la circulation des masses d'air locales et l'impact des phénomènes climatiques continentaux.

Les régions 1, 2, 3 et 7 sont séparées de leurs régions voisines par une limite altitudinale. Elles sont bien exposées aux précipitations provoquées par l'ascension des masses d'air locales et peuvent être soumises également à l'influence des bassins voisins (influence amazonienne dans la région 3 par exemple).

D'après l'analyse des séries mensuelles représentatives de chaque région (vecteurs générés sur la période 1965-1985), on constate d'abord que l'organisation chronologique des pluies annuelles n'est pas foncièrement différente d'une région à l'autre. On y retrouve certaines constances :

années (très) fortes :	69, 70, 71, 74 , 75 , 82, 84
années (très) faibles :	67, 73, 77 , 78 , 79, 85

On remarquera la faible influence du Niño sur le bassin du Mira : l'année 1983 qui correspond à un Niño exceptionnel n'est supérieure à la moyenne que dans quelques stations seulement. Une certaine différence existe dans les coefficients de variation (CV = écart-type / moyenne), en fonction de l'altitude.

Les CV sont plus faibles (de 0,15 à 0,17) dans les régions hautes (n°1, 2, 5 et 7) alors qu'ils s'élèvent à 0,22 - 0,23 pour les fonds de vallées (n°4, 6 et 8). On a une valeur moyenne (0,20) dans la région intermédiaire n°2

Par contre, cette différence est plus marquée au niveau de la répartition saisonnière des précipitations (régimes pluviométriques).

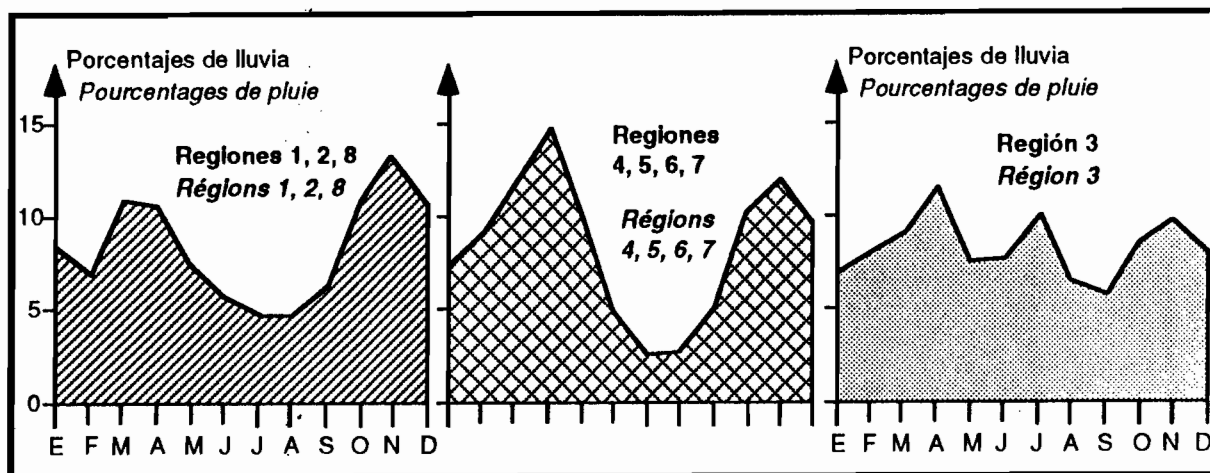


Figure 4 - Bassin du Mira - Régime des précipitations dans les 8 régions pseudo-proportionnelles.

Les versants exposés au sud-sud-est (1, 2, 8) ont une pluviométrie plus forte lors de la deuxième saison des pluies (octobre-novembre-décembre) quand la Zone de Convergence Intertropicale remonte vers le nord.

C'est exactement le contraire pour les versants exposés au nord (4, 5, 6 et 7).

La région 3 montre bien l'influence des alizés du sud-est qui arrivent à passer la barrière que constitue la cordillère.

Elle n'a pratiquement pas de saison sèche et reçoit plus de pluie au mois de juillet qu'au mois de novembre.

3. REGIONALISATION DE L'ETP DANS LE BASSIN DU MIRA

3.1. Homogénéisation des séries

Le module d'homogénéisation de CLIMAN est également utilisé pour l'analyse des paramètres climatiques nécessaires au calcul de l'ETP (température, vent, insolation, humidité relative, évaporation du bac).

Dans la plupart des cas, on se contentera des tests de simples masses qui se révèlent suffisants en raison du peu d'amplitude de l'organisation interne des séries chronologiques étudiées.

3.2. Calcul de l'ETP

Avant de passer à la phase de calcul de l'ETP, il est nécessaire de déterminer la ou les formules adaptées à la position géographique et altitudinale du bassin, car les études antérieures menées en Colombie montrent une dérive de certaines formules en fonction de l'altitude.

En l'absence de lysimètres, la comparaison s'effectue par rapport à l'évaporation mesurée dans les quelques stations qui possèdent un bac de classe A.

L'ETP est calculée selon 7 formules (Blaney-Cridde avec la correction de Phelan, Thornthwaite, Christiansen-Yopez, Hargreaves, Penman, Turc et Penman modifiée).

La comparaison s'effectue au niveau des valeurs absolues et des variations saisonnières et permet de dégager les formules les mieux adaptées selon la région concernée.

Dans le bassin du Mira, la formule de Penman modifiée obtient les meilleurs résultats dans les 7 stations qui possèdent un bac.

Cette formule est donc appliquée dans les 18 stations climatiques appartenant au bassin.

3.3. Relations entre ETP et altitude (Fig 5)

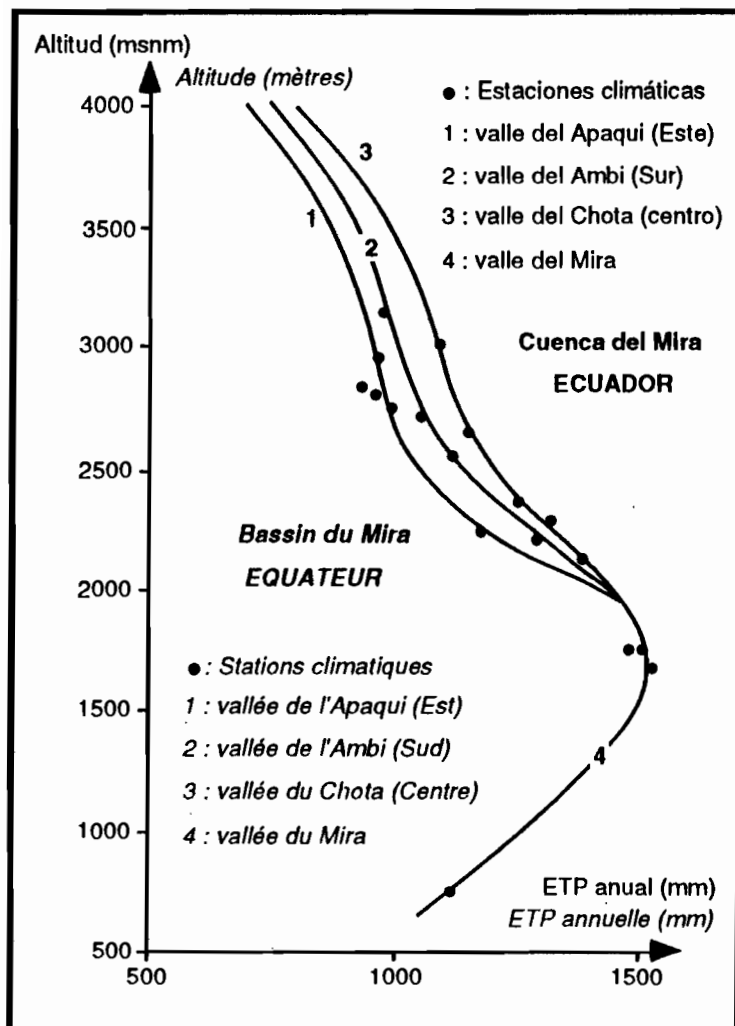


Figure 5 - Bassin du Mira - Relations entre ETP et altitude

Comme dans l'analyse pluviométrique, on note 3 tendances principales correspondant aux 3 vallées principales.

Dans ce cas, les courbes sont moins dispersées.

Cela est normal étant donné les meilleurs corrélations entre paramètres climatiques et altitude et le nombre réduit de stations qui ne permet pas d'apprécier les variations particulières de chaque vallée transversale.

La valeur maximale de l'ETP se situe vers 1700 m, altitude similaire au minimum pluviométrique rencontré dans les figures 2.

Ces 2 extrêmes correspondent au fond de la vallée principale du Chota.

Seules 2 stations dépassent les 3000 mètres.

Les courbes ont été prolongées jusqu'à 4000 mètres après avoir étudié attentivement les relations entre chaque paramètre climatique et l'altitude.

3.4. Régionalisation (Fig 6)

A partir du module de régionalisation de CLIMAN appliqué aux valeurs d'ETP calculées par la formule de Penman modifiée, on obtient 3 groupes de stations qui concordent avec les 3 tendances de la figure 5.

Les coefficients de corrélation entre stations et vecteur correspondant ont des valeurs similaires quand on passe du niveau mensuel au niveau annuel. Par contre, leurs valeurs sont inférieures à celles calculées dans l'analyse pluviométrique.

Région 1	4 stations	coefficients de corrélation = 0.88
Région 2	6 stations	coefficients de corrélation = 0.88
Région 3	8 stations	coefficients de corrélation = 0.84

Coefficients de corrélation moyens entre stations et vecteurs de chaque zone

Si l'on divise la région 3, les corrélations s'améliorent significativement mais la période de calcul des vecteurs se réduit étant donné le peu d'observations de certaines stations.

Bien que les corrélations moyennes sont assez basses dans ce groupe, les différences observées entre stations et vecteurs ne sont pas trop fortes.

Il est possible que ce résultat mitigé provienne d'un manque de rigueur dans la phase d'homogénéisation des paramètres climatiques et en particulier de la vitesse du vent. Cette donnée est enregistrée selon diverses unités de mesures et à différentes hauteurs, sans que cela soit toujours noté dans les annuaires.

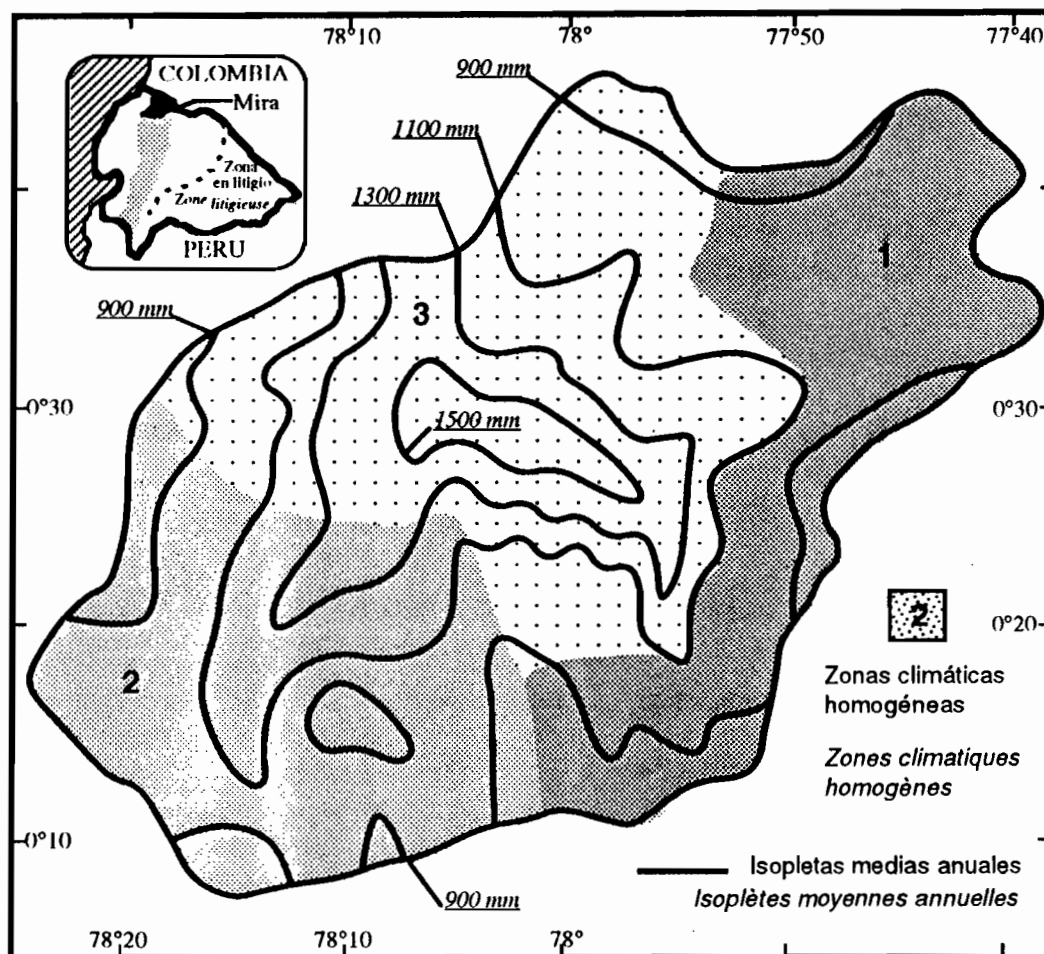


Figure 6 - Bassin du Mira - Isoplètes moyennes annuelles - Zones homogènes d'ETP

La région 1 correspond à la partie orientale du bassin qui est soumise à une certaine influence amazonienne, alors que la région 3 est sous influence des masses d'air en provenance du Pacifique.

4. UTILISATION DES VECTEURS

4.1. Calcul des besoins actuels

Les produits obtenus par la régionalisation climatique sont des cartes au 1/200 000 similaires aux figures 4 et 7. A chaque zone homogène est associé un vecteur d'indices mensuels et annuels calés sur une valeur moyenne annuelle de 1000 mm.

Si d'après la carte des isohyètes, un point reçoit 570 mm de pluie annuelle et appartient à la région climatique n°3. Il suffit de multiplier le vecteur pluviométrique de la région 3 par 0,570 pour obtenir une série chronologique mensuelle probable du point considéré. On procède de la même façon pour l'ETP. En superposant les cartes de régionalisation et celles des périmètres on génère ainsi les séries climatiques associées à chaque périmètre.

Ces données sont reportées dans la banque générale de l'irrigation où figure une description précise de l'infrastructure de transport et de distribution (longueur, pentes, efficacités, etc..) et des périmètres (systèmes de production, caractéristiques hydrodynamiques des sols, surfaces équipées et irriguées, etc..) déterminée à partir des autres opérations du projet.

A partir de là, on peut évaluer les dotations nécessaires de chaque périmètre en fonction des risques que l'on est prêt à encourir : satisfaction des besoins 1 année sur 2, 3 années sur 4, etc..

Les résultats sont comparés aux concessions légales et aux débits réellement dérivés (qui peuvent être différents) pour établir un premier diagnostic sur la mobilisation de l'eau à usage agricole.

4.2. Calcul des besoins éventuels

Dans de nombreux cas, les systèmes de production se sont adaptés à la ressource en eau disponible. Leur évolution vers des systèmes plus intensifs dépend donc en partie d'une meilleure distribution de la ressource.

Le projet a procédé à la modélisation de l'économie agricole dans les espaces irrigués, sur la base du programme GAMS de la Banque Mondiale, afin de simuler divers scénarios plausibles d'évolution des systèmes de production et des surfaces irriguées suivant les types d'intervention proposés.

Les résultats de la régionalisation climatique sont donc utilisés comme paramètres d'entrée du modèle GAMS pour évaluer les besoins en eau futurs selon les divers schémas retenus.

4.3. Modèle pluie-débit

Les vecteurs et leurs régions sont également utilisés pour caler un modèle de transformation pluie-débit sur des bassins hydrologiquement homogènes. La délimitation de zones climatiques homogènes permet de mieux appréhender l'impact des différents régimes climatiques sur la ressource en eau afin de calculer un vecteur moyen par bassin qui tienne compte exactement des différents impacts (pourcentages de surface occupés par les différents vecteurs, pluie moyenne correspondant aux régions climatiques concernées).

Des essais sont en cours sur 3 bassins versants contrôlés par des stations hydrométriques et sur lesquels viennent interférer plusieurs zones climatiques. Les meilleures corrélations entre climats (pluie, ETP) et débits mensuels sont obtenues avec les vecteurs mais elles ne sont pas encore satisfaisantes (aux alentours de 0,6) en raison du manque de confiabilité des données hydrométriques qui ont besoin d'une bonne vérification.

4.4. Calcul des ressources disponibles aux prises

A chaque prise d'eau correspond un bassin versant. Chacune des prises est repérée par son appartenance à un bassin hydrologiquement homogène et par sa position sur le réseau hydrographique grâce à une codification linéaire qui permet de déterminer les débits dérivés en amont et l'impact qu'a cette prise en aval. Son bassin versant est caractérisé par sa surface, ses valeurs moyennes annuelles de pluie et d'ETP et les vecteurs moyens correspondants.

Une fois terminé le calage définitif du modèle de transformation pluie-débit, il est possible d'estimer les débits disponibles (mois par mois et année par année) au niveau de chaque prise et de simuler les changements proposés par la simulation agro-économique pour en voir la factibilité.

4.5. Diagnostic du réseau

La méthodologie suivie permet d'analyser les stations du réseau selon 3 critères : la qualité d'observation, la répartition altitudinale et la distribution spatiale.

Les courbes entre pluie et altitude montrent bien le manque de stations au-dessus de 3000 mètres.

Les groupes 1, 2 et 3 ont trop peu de consistance faute de stations ; dans certains cas, il a fallu introduire des postes pluviométriques appartenant à des bassins voisins pour construire le vecteur.

Dans le groupe 7, les stations sont trop localisées sur le bassin versant expérimental, ce qui entraîne un manque de précision dans le tracé des limites de région.

Par contre, dans le fond de vallée (région 8 principalement), d'autres organismes (publics ou privés) ont installé des stations climatiques pour améliorer la gestion des grands périmètres de canne à sucre.

Celles-ci font parfois double emploi avec les stations de l'Institut Météorologique INAMHI. Ce dernier pourrait donc désengager certains postes pluviométriques récents (107 et 902) ou très mal observés (603) pour rééquilibrer le réseau vers les régions signalées.

Ces recommandations pratiques et précises pourront être complétées par des critères plus élaborés de gestion du réseau (densité minimale selon le type de région) lorsque l'on disposera de données plus complètes sur les autres bassins du couloir interandin, pour proposer un réseau optimal.

4.6. Classification et caractérisation climatique

La plupart du temps, la classification climatique au niveau d'un pays est basée sur l'analyse de stations dites représentatives : malheureusement, la représentativité spatiale des stations choisies est très peu souvent démontrée.

La régionalisation climatique a l'avantage de délimiter des espaces à l'intérieur desquels le vecteur généré offre une représentativité chiffrée : c'est donc un outil intéressant pour élaborer une classification climatique précise.

On peut également utiliser les vecteurs comme données d'entrée d'une nouvelle phase de régionalisation pour obtenir des vecteurs de second ordre : on aboutit alors à une classification plus grossière, mais souvent suffisante. On peut aussi répéter l'opération plusieurs fois pour arriver aux grands types de climat.

L'essai réalisé dans le Mira permet de regrouper les 8 régions originales en 3 catégories :

- la première regroupe les régions 1, 2 et 8 avec des coefficients de corrélations moyens de 0,94 en mensuel et 0,93 en annuel,
- la deuxième rassemble les régions 4, 5, 6 et 7 avec des coefficients de 0,93 et 0,90,
- la région 3 reste isolée.

Par le calcul, on retrouve donc les regroupements déjà réalisés au niveau des régimes pluviométriques (fig 4).

CONCLUSION

Dans le cadre du projet INERHI-ORSTOM (Irrigation traditionnelle dans les Andes équatoriennes), on a vu l'importance d'une bonne connaissance préliminaire des principales caractéristiques du climat (pluie et ETP) pour établir des diagnostics au niveau de périmètres et de systèmes très dispersés dans l'espace. La méthode du vecteur régional permet de répondre à ce besoin.

L'algorithme utilisé (vecteur de Y. Brunet-Moret) et le logiciel qui lui est associé (CLIMAN) sont des outils pratiques et efficaces pour homogénéiser les séries chronologiques mensuelles (presque toutes les erreurs détectées ont été confirmées par les visites de terrain). Ils permettent également de délimiter des zones pseudo-proportionnelles représentées par des vecteurs qui sont ensuite utilisés pour calculer besoins et ressources en tout point de l'espace, ce qui correspond aux objectifs fixés par le projet.

Bien sur, il reste encore des améliorations à faire notamment au niveau des liens qui caractérisent une zone homogène. En effet, le coefficient de corrélation n'est peut-être pas le meilleur indicateur de la pseudo-proportionnalité des séries chronologiques au sein d'une même région. L'indice utilisé par le programme MVR (vecteur de G. HIEZ) a été testé sur 14 stations des Galapagos et là non plus les résultats ne sont pas convaincants.

Pour le moment, la distinction entre régions pseudo-proportionnelles nécessite encore une certaine connaissance du milieu.

Mais la méthodologie proposée recèle d'autres possibilités rapidement exposées qui devraient généraliser son emploi surtout dans des milieux andins où les variations climatiques sont particulièrement importantes en raison d'un relief très contrasté.

BIBLIOGRAPHIE

- ALEMAN M., 1992** - Utilización de vectores climáticos para generación de caudales. *Montpellier, INERHI-ORSTOM, 10 p.*
- BOULET J., LE GOULVEN P., POUPON H., 1984** - Metodologías aplicadas. *In : Estudio integrado del Altiplano Cundiboyacense, Bogotá, éditions de l'IGAC, 437 p., 17 fig., 20 tab., 9 annexes.*
- BRUNET-MORET Y., 1979** - Homogénéisation des précipitations. *In : Cahiers ORSTOM, série Hydrologie, vol XVI, n° 3 et 4, pp. 147-170.*
- CADIER E., POURRUT P., CRUZ R., & al., 1978** - Estudio hidro-meteorológico e hidrogeológico de la cuenca del río Esmeraldas y del norte ecuatoriano. *Quito, MAG-ORSTOM, 2 vol.*
- CADIER E., POURRUT P., 1979** - Inventaire 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, pp. 171-207.*
- HIEZ G., 1977** - L'homogénéité des données pluviométriques. *In : Cahiers ORSTOM, série Hydrologie, vol XIV, n° 2, pp. 129-172.*
- LE GOULVEN P., GARCIA R., 1980** - Proposición metodológica de un estudio climatológico para el desarrollo, ejemplo del Altiplano Cundiboyacense. *Bogotá, IGAC, 15 p. multigr.*
- LE GOULVEN P., RUF T., RIVADENEIRA H., 1987** - Méthodologie générale et détails des opérations du projet INERHI-ORSTOM.- *Quito, INERHI-ORSTOM, 06/87, 91p + an. (Français, Espagnol).*
- LE GOULVEN P., 1987** - Caracterización climática, metodología de la operación D3. *Quito, INERHI-ORSTOM, 20 p. multigr.*
- 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., 1988**.- Homogeneización de los datos pluviométricos.- Conferencia al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI).- *Quito, INERHI-ORSTOM, 17/03/88, 23p.*
- LE GOULVEN P., SEGOVIA A., ALEMAN M., 1988** - Banque des données climatiques mensuelles (pluie, évaporation, température, insolation, humidité relative, vent) pour l'ensemble du réseau (un peu plus de 900 stations).
- LE GOULVEN P., ALEMAN M., OSORNO I., 1988** - Homogeneización y regionalización pluviométrica por el método del vector regional.- *Com. V Congrès Equatorien d'Hydraulique, Quito, 23-26/11/88, pp 59-83, (Espagnol, Français).*
- LE GOULVEN P., ALEMAN M., 1990** - Logiciel CLIMAN (Climantic Monthly Analysis) de traitement des données climatiques mensuelles, écrit en langage FORTRAN.