

# 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

*Série A1, Volume Méthodologique Préliminaire*

*Choix Raisonné des Aires Significatives pour l'Etude des  
Dysfonctionnements de l'Irrigation en Equateur*

✦ ANALYSE DE LA SITUATION  
METHODOLOGIE GENERALE  
DETAILS DES OPERATIONS



Document élaboré par :

INERHI

Hugo RIBADENEIRA

Patrick LE GOULVEN

Thierry RUF

ORSTOM

*↳ Série A1, Volume Méthodologique Préliminaire*

*Choix Raisonné des Aires Significatives pour l'Etude des  
Dysfonctionnements de l'Irrigation en Equateur*

**↳ ANALYSE DE LA SITUATION  
METHODOLOGIE GENERALE  
DETAILS DES OPERATIONS**

Quito, mars 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 Hydraulique**

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'APPUI**

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 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 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.

L'opération A (CRASEDIE) qui nous intéresse pour ce rapport comprend les 6 activités suivantes :

- **A1 - Sélection de régions et thématiques prioritaires (problématiques des grandes régions de l'Equateur en matière d'irrigation - types d'intervention de l'Etat - choix des priorités)**
- **A2 - Délimitation des grands bassins hydrographiques** (localisation des parties irriguées et des stations hydrométriques de contrôle).
- **A3 - Découpage de l'espace en micro-bassins** (délimitation de bassins hydrologiquement homogènes et calcul de leurs caractéristiques - schémas hydrauliques)
- **A4 - Découpage de l'espace en ZARI** (délimitation de Zones d'Analyse et de Recommandations pour l'Irrigation en fonction de l'infrastructure existante).
- **A5 - Relations entre micro-bassins et ZARI** (analyse de l'espace en fonction des 2 découpages - codification adéquate des prises pour l'estimation de la ressource hydrique disponible).
- **A6 - Sélection des ZARI pilotes** (zones représentatives du milieu agricole irrigué sur lesquelles se réaliseront des études détaillées du fonctionnement des systèmes irrigués).

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, ...

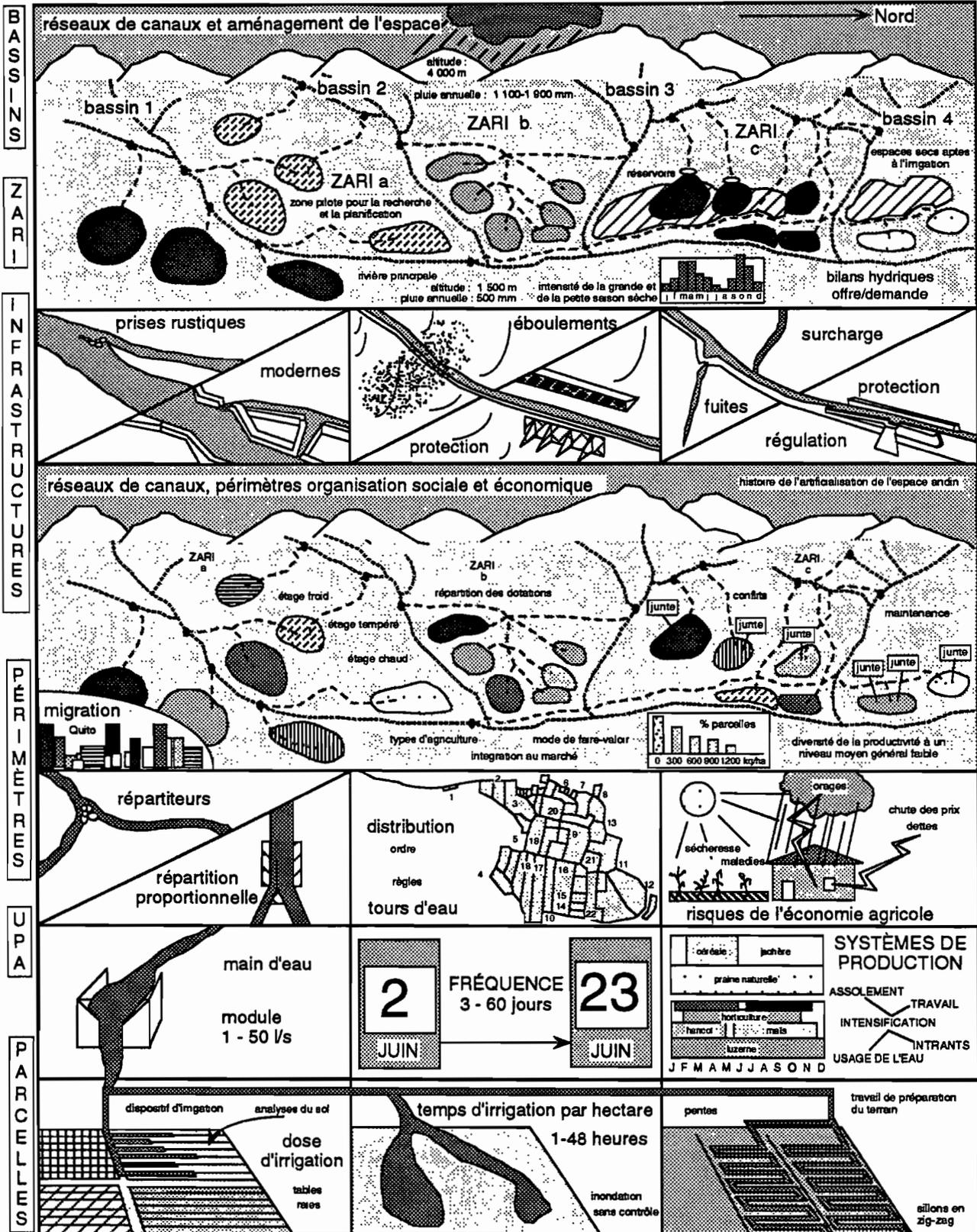
Pour donner une certaine cohérence aux divers rapports, ceux-ci sont publiés dans une même collection sous une couverture identique et sont identifiés par :

- 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.

Dans le cas présent, le numéro de série (A1) indique l'activité correspondante à la sélection des régions et des thématiques prioritaires, le nom de volume (Méthodologie Préliminaire) précise qu'il s'agit des aspects méthodologiques développés au début du projet.

Ce rapport permet de justifier les priorités choisies et présente les méthodes et l'organisation choisies par le projet pour arriver à ses fins.

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



## **QUELQUES PRECISIONS**

**Le présent volume est la synthèse des 2 rapports méthodologiques suivants :**

- **Analyse de la situation et conception générale du Plan National d'Irrigation**  
*Patrick LE GOULVEN, avril 1986.*
  
- **Méthodologie générale et détails des opérations du projet INERHI-ORSTOM.**  
*Patrick LE GOULVEN, Thierry RUF, Hugo RIBADENEIRA, Juillet 1987.*

**Les concepts développés dans ces 2 rapports ont été largement suivis par le projet ; les modifications et les précisions effectuées au fur et à mesure du déroulement des travaux concernent seulement des points de détails.**

## SIGLAS IMPORTANTES - SIGLES IMPORTANTS

<b>BCEOM</b>	Sociedad Francesa de Ingeniería (Departamento Hidrología y Desarrollo Rural) <i>Société Française d'Ingénierie (Département Aménagements Hydrauliques et Développement Rural)</i>
<b>BID</b>	Banco Internacional de Desarrollo <i>Banque Internationale de Développement</i>
<b>BIRD</b>	Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento <i>Banque Mondiale</i>
<b>CEMAGREF</b>	Centro Nacional de Mecanismos Agrícolas de Ingeniería Rural de las Aguas y de los Bosques <i>Centre National du Machinisme Agricole du Génie Rural et des Eaux et des Forêts</i>
<b>CICDA</b>	Centro Internacional de Cooperación para el Desarrollo Agrícola <i>Centre International de Coopération pour le Développement Agricole</i>
<b>CIRAD</b>	Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo <i>Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement</i>
<b>CNEARC</b>	Centro Nacional de Estudios Agronómicos de las Regiones Cálidas <i>Centre National d'Etudes Agronomiques des Régions Chaudes</i>
<b>FAO</b>	Organización para la Agricultura y Alimentación (ONU) <i>Organisation pour l'Agriculture et l'Alimentation (ONU)</i>
<b>INAMHI</b>	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología <i>Institut National de Météorologie et d'Hydrologie</i>
<b>INEC</b>	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos <i>Institut National de Statistiques et Recensements</i>
<b>INERHI</b>	Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos <i>Institut Equatorien des Ressources Hydrauliques</i>
<b>INIAP</b>	Instituto Nacional de Investigaciones AgroPecuarias <i>Institut National de Recherches Agronomiques</i>
<b>IRAT</b>	Instituto de Investigaciones Agronómicas Tropicales y Cultivos Alimenticios (CIRAD) <i>Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières (CIRAD)</i>
<b>MAG</b>	Ministerio de Agricultura y Ganadería <i>Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage</i>
<b>ORSTOM</b>	Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación <i>Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération</i>
<b>PRONAREG</b>	Programa Nacional de Regionalización Agraria (MAG) <i>Programme National de Régionalisation Agraire (MAG)</i>
<b>SEAN</b>	Servicio de Estadísticas Agrícolas Nacionales <i>Service des Statistiques Agricoles Nationales</i>

# SOMMAIRE

## *Première Partie*

### ANALYSE DE LA SITUATION - CONCEPTION GENERALE

	page
<b>I - ASPECT LÉGAL ET INSTITUTIONNEL</b> .....	1
1. Loi de création de l'INERHI (1966) .....	1
2. Loi sur l'eau (1972) .....	2
3. Organigramme de l'INERHI .....	3
4. Institutions liées à l'eau .....	4
<b>II - ANTÉCÉDENTS</b> .....	4
1. SOGREAH-INERHI - 1977 .....	4
2. ORSTOM-CONADE - 1982 .....	4
<b>III - SITUATION ACTUELLE</b>	
1. Convention ORSTOM-PRONAREG .....	5
1.1. Où irriguer ? .....	5
1.2. Quand et combien irriguer ? .....	6
1.3. Avec quoi irriguer ? .....	6
2. Convention INERHI-CEDEX .....	6
2.1. Première phase .....	6
2.2. Seconde phase .....	7
3. Inventaire de l'irrigation actuelle .....	8
<b>IV - CONCEPTION GÉNÉRALE D'UN PLAN NATIONAL D'IRRIGATION (tentative)</b> .....	8
1. Caractérisation des projets .....	9
2. Présélection .....	10
3. Analyse et hiérarchisation .....	10
4. Conclusion .....	10
<b>V - IDENTIFICATION ET CARACTÉRISATION DES PROJETS</b> .....	11
1. Introduction .....	11
2. Localisation des projets .....	13
2.1. Localisation des UPD .....	13
2.2. Localisation et diagnostic de l'irrigation publique .....	14
2.3. Localisation et diagnostic de l'irrigation privée .....	15

<b>3. Disponibilités en eau</b> .....	<b>16</b>
<b>3.1. Étude des demandes</b> .....	<b>16</b>
<b>3.2. Étude des ressources</b> .....	<b>17</b>
<b>4. Conclusion</b> .....	<b>18</b>
<b>VI - DOCUMENTS CONSULTÉS</b> .....	<b>19</b>

## **Deuxième Partie**

### **METHODOLOGIE GENERALE**

	page
<b>I - GÉNÉRALITÉS SUR L'IRRIGATION EN ÉQUATEUR</b>	
1. Présentation du pays .....	21
2. Le climat et les ressources hydriques : une répartition inégale dans l'espace et le temps .....	22
3. Le développement de l'irrigation dans le pays : une histoire ancienne mais une intervention récente de l'État .....	22
4. Les grands problèmes de l'irrigation en Équateur .....	24
5. Conclusion : des précisions sur les objectifs .....	25
<b>II - LES UNITÉS SPATIALES DE LA RECHERCHE ET DE LA PLANIFICATION</b> .....	<b>27</b>
1. Le niveau national .....	27
2. Le grand bassin hydrographique .....	27
3. Le bassin versant unitaire .....	27
4. Le périmètre unitaire .....	28
5. La ZARI	
5.1. Les étapes de la conception .....	28
5.2. Conséquences pour l'analyse hydrologique .....	31
5.3. Une application exemplaire : la ZARI d'Urcuquí .....	32
6. L'exploitation et la parcelle .....	34
<b>III - LES ÉTUDES DE TERRAIN</b>	
1. Le pourquoi et le comment .....	35
2. Les éléments de fonctionnement susceptibles de transfert .....	35
<b>IV - LES POTENTIELS ET LEUR DÉFINITION</b> .....	<b>37</b>
1. Les définitions .....	37
2. Potentiels et leur utilisation .....	37
<b>V - CONCLUSION : UN DÉCOUPAGE EN PLUSIEURS OPÉRATIONS</b> .....	<b>38</b>

## Troisième Partie

### DETAILS DES OPERATIONS

	page
<b>Opération A : CRASEDIE</b> .....	43
<b>A<sub>1</sub> - ZONES DE TRAVAIL ET MAILLAGE HYDROLOGIQUE</b>	
1. Objectifs .....	43
2. Travaux antérieurs et justification .....	43
3. Résumé méthodologique .....	44
4. Produits attendus .....	44
5. Durée de l'opération .....	44
6. Personnel .....	45
7. Formation et valorisation .....	45
8. Collaborations externes .....	45
9. Principaux documents de base .....	45
<b>A<sub>2</sub> - SÉLECTION DES ZARI REPRÉSENTATIVES</b>	
1. Objectifs .....	45
2. Antécédents, justifications .....	45
3. Résumé méthodologique .....	46
4. Personnel .....	46
5. Durée de l'opération .....	46
6. Produits attendus .....	46
7. Contacts extérieurs .....	46
8. Bibliographie .....	47
<b>Opération B : TAPATRIE</b>	
1. Objectifs .....	49
2. Travaux antérieurs, justifications .....	49
3. Résumé méthodologique .....	50
B <sub>1</sub> Étude préliminaire, repérage et pré-diagnostic sur la ZARI .....	50
B <sub>2</sub> Travaux pluridisciplinaires à l'échelle de la ZARI entière .....	51
B <sub>3</sub> Travaux pluridisciplinaires à l'échelle des unités d'usage du sol et des exploitations .....	51
B <sub>4</sub> Travaux pluridisciplinaires à l'échelle de parcelles de base .....	52
4. Principaux produits attendus .....	52
5. Durée de l'opération .....	52
6. Personnel .....	52
7. Principaux contacts .....	52
8. Bibliographie .....	52

**Opération C : LOCIE**

<b>Objectifs</b> .....	<b>53</b>
------------------------	-----------

**C<sub>1</sub> - LOCALISATION ET ORGANISATION STRUCTURELLE**

1. Travaux antérieurs et justification .....	53
2. Résumé méthodologique .....	54
3. Produits attendus .....	55
4. Durée de l'opération .....	55
5. Personnel .....	55
6. Formation et valorisation .....	55
7. Collaborations externes .....	56
8. Documents de base .....	56

**C<sub>2</sub> - CARACTÉRISATION FONCTIONNELLE**

1. Travaux antérieurs, justification, résumé méthodologique .....	56
---	----

<b>Opération D : EGRADIE</b> .....	<b>59</b>
------------------------------------	-----------

**D<sub>1</sub> - CARACTÉRISATION HYDRO-CLIMATIQUE PRÉLIMINAIRE****I - Pluviométrie**

1. Travaux antérieurs et justification .....	59
2. Résumé méthodologique .....	60
3. Produits attendus .....	60
4. Durée de l'opération .....	61
5. Personnel .....	61
6. Formation et valorisation .....	61
7. Collaborations externes .....	61
8. Principaux documents à consulter .....	62

**II - Climatologie**

1. Travaux antérieurs et justification .....	62
2. Résumé méthodologique .....	62
3. Produits attendus .....	63
4. Durée de l'opération .....	63
5. Personnel .....	63
6. Formation et valorisation .....	63
7. Collaborations externes .....	64
8. Principaux documents à consulter .....	64

**III - Hydrométrie**

1. Travaux antérieurs, justifications et résumé méthodologique .....	64
--	----

<b>D<sub>2</sub> - ÉVALUATION DES BESOINS</b> .....	<b>65</b>
---	-----------

<b>D<sub>3</sub> - ÉVALUATION DE LA RESSOURCE EN EAU</b> .....	<b>65</b>
--	-----------

<b>D<sub>4</sub> - CONFRONTATION DES RESSOURCES AVEC LES BESOINS</b> .....	<b>66</b>
--	-----------

	page
<b>Opération E : OCASEZIE</b>	
<b>1. Objectifs</b> .....	67
<b>2. Travaux antérieurs et justifications</b> .....	67
<b>3. Présentation de chaque sous-opération</b>	
<b>E<sub>1</sub> Méthodologie du diagnostic sur la répartition de l'eau dans les ZARI et recherche sur l'amélioration des tours d'eau</b> .....	68
<b>E<sub>2</sub> Dynamiques agraires autour des aménagements hydro-agricoles (perspectives historiques)</b> .....	69
<b>E<sub>3</sub> Détermination des productivités agricoles actuelles et potentielles dans chaque ZARI, et des éléments explicatifs de ces productivités</b> .....	70
<b>E<sub>4</sub> Évaluation ex-post d'un projet public d'irrigation et comparaison avec une situation voisine « hors projet »</b> .....	72
<b>E<sub>5</sub> Établissement de comptes macro-économiques par ZARI</b> .....	73
<b>4. Rappel des principaux produits de l'opération E</b> .....	73
<b>5. Rappel du personnel</b> .....	74
<b>6. Durée de l'opération</b> .....	74
<b>7. Principaux contacts extérieurs</b> .....	74
<b>8. Premiers éléments bibliographiques</b> .....	75
<b>Opération F : EPOPIE</b>	
<b>1. Objectifs</b> .....	77
<b>2. Antécédents, justifications</b> .....	77
<b>Opération G : EPELIE</b>	
<b>1. Objectifs</b> .....	79
<b>2. Antécédents, justifications</b> .....	79
<b>Opération H : BIDRIE</b> .....	81

*Première Partie*

**ANALYSE DE LA SITUATION  
CONCEPTION GÉNÉRALE**

## **I. ASPECT LÉGAL ET INSTITUTIONNEL**

L'usage de l'eau sur le territoire équatorien est réglementé par deux décrets dont nous allons signaler les principaux points.

### **1. Loi de création de l'INERHI (1966)**

La création de l'Institut Équatorien des Ressources Hydrauliques (INERHI) est due à la nécessité d'avoir un organisme étatique dans lequel soient concentrées les obligations de l'État en matière d'irrigation et de conservation du sol, tant du point de vue planification que du point de vue exécution et exploitation des ouvrages et administration des ressources hydrologiques pour obtenir une politique d'État unique et cohérente.

#### **Article 3**

L'INERHI détient les fonctions et attributions suivantes :

- a. élaborer et exécuter le Plan National d'Irrigation comme partie intégrante du Plan National de Développement Économique et Social du pays et collaborer avec la Direction Nationale Agricole et le Conseil National de Développement (CONADE) pour actualiser ce plan ;
- b. projeter, étudier, construire et exploiter les systèmes d'irrigation sur le territoire national, seul ou en coopération avec d'autres institutions ;
- f. réaliser, conjointement avec l'Institut National de Météorologie et d'Hydrologie (INAMHI), l'évaluation des ressources hydriques nationales ; établir un inventaire complet de ces ressources et le maintenir actualisé ;
- i. étudier et déterminer les nécessités en eau pour l'irrigation et les autres usages et fixer les réserves indispensables pour l'irrigation des terres arides ainsi que pour les autres objectifs orientés vers le développement du pays ;
- j. connaître les demandes de concession d'usage de l'eau et leur donner suite, ainsi qu'émettre un avis technique qui devra être respecté ;
- k. maintenir un registre des concessions autorisées par l'État.

#### **Article 14**

Pour l'utilisation des services de l'INERHI, le Conseil de Direction de l'Institut établira des tarifs réajustables et couvrant les coûts d'amortissement, d'opération et de maintenance.

#### **Article 15**

Pour utiliser les eaux de l'État qui leur ont été attribuées, les particuliers devront payer un droit de concession dont la somme sera fixée par un règlement spécial.

#### **Article 18**

La Banque Nationale du Développement (*Banco Nacional de Fomento*) et les Directions Générales du Ministère de l'Agriculture agiront conjointement avec l'INERHI pour développer les zones dans lesquelles seront réalisés les projets d'irrigation.

## **2. Loi sur l'eau (1972)**

### **Article 2**

L'eau superficielle (rivières, lacs, sources, neiges, etc.) et souterraine sont des biens nationaux d'utilité publique.

### **Article 3**

Les eaux, considérées précédemment comme propriété privée, sont également déclarées biens nationaux d'utilité publique. Leurs usagers continueront à en profiter mais comme titulaires d'un droit d'utilisation conformément à cette loi.

### **Article 8**

La limitation et la gestion de l'utilisation de l'eau par les concessionnaires est du ressort de l'INERHI.

### **Article 15**

Le bénéficiaire d'une concession est obligé de construire les ouvrages de prise d'eau et d'amenée ainsi que ceux de mesure et de contrôle.

### **Article 25**

Quand l'eau disponible est insuffisante pour satisfaire plusieurs besoins, seront prioritaires ceux qui servent le mieux l'intérêt économique et social du pays.

### **Article 34**

Les concessions seront attribuées dans l'ordre de priorité suivant :

- a. eau potable
- b. agriculture et élevage
- c. utilisations énergétiques, industrielles et minières
- d. autres utilisations

En cas d'urgence sociale, l'INERHI pourra faire varier cet ordre à l'exception de la première priorité.

### **Article 51**

Obligation est faite d'utiliser pour l'irrigation les eaux amenées par des canaux construits par l'État. Sont sujettes à cette obligation toutes les terres situées plus bas que les canaux d'amenée et qui ont une pente inférieure à 20 pour cent. Le débit d'utilisation sera fixé par l'INERHI.

### **Article 52**

N'ont pas cette obligation :

- les terres dont les sols ne permettent pas une production agricole adéquate ;
- les terres qui disposent de suffisamment d'eau.

### **Article 53**

Les personnes obligées à utiliser l'eau paieront les tarifs correspondants, qu'elles l'utilisent ou non.

### **Article 76**

Si plus de 5 personnes ont une concession commune, elles formeront un Directoire des Eaux qui s'occupera de la répartition, l'exploitation et la conservation des ressources. L'INERHI interviendra dans tous les conflits qui pourraient se présenter.

### **Article 98**

Tous les utilisateurs devront s'inscrire à l'INERHI en indiquant les points de captage et le débit désiré. Cette inscription gratuite se fera dans un délai d'un an.

## **3. Organigramme de l'INERHI**

Afin d'atteindre les objectifs ci-dessus mentionnés, l'INERHI dispose d'un Conseil de Direction, d'une Direction Exécutive et d'une Direction Technique.

Le Conseil de Direction est constitué par :

- le Ministre de l'Agriculture et de l'Élevage,
- le Directeur du Département Technique du Secrétariat Général de la Planification Économique,
- le Directeur Exécutif de l'Institut de la Réforme Agraire et de la Colonisation (IERAC),
- le représentant de l'activité agricole,
- le Directeur de la Banque Nationale du Développement.

Le Directeur Exécutif de l'INERHI est secrétaire du Conseil avec voix consultative.

De la Direction Exécutive dépendent directement :

- la Direction Technique,
- la Direction de la Planification,
- la Direction Financière,
- la Direction Administrative.

La Direction Technique supervise :

- la Direction de l'Administration des Eaux et de l'Aménagement des Bassins,
- la Direction de la Construction,
- la Direction des Opérations et de Développement des Systèmes d'Irrigation (assistée par la Coopération Belge),
- la Direction des Études et des Projets,
- les 10 Districts d'Irrigation répartis dans tout le pays qui gèrent l'eau (concessions) et supervisent les projets en construction.

La Direction de la Planification, créée en 1980, comprend 5 départements :

- Plan National des Ressources Hydriques (PNRH), avec la coopération espagnole,
- Plan National d'Irrigation (PNR), avec qui l'ORSTOM devrait travailler,
- Programmation Administrative et Financière,
- Programmes Internationaux,
- Évaluation.

#### **4. Institutions liées à l'eau**

Parallèlement à l'INERHI, se sont créés des organismes régionaux qui jouissent d'une certaine autonomie et se chargent de la planification globale (et donc de l'usage de l'eau) des régions dont ils s'occupent.

Ces corporations ont des statuts particuliers, une certaine ancienneté et des méthodes de travail très variables de l'une à l'autre. Les projets qu'elles désirent mettre en œuvre doivent obtenir l'autorisation de l'INERHI dans les domaines touchant à l'utilisation de l'eau.

Les plus importantes de ces corporations sont :

- PREDESUR (Programme Régional pour le Développement du Sud de l'Équateur),
- CEDEGE (Commission d'Études pour le Développement du Bassin du Fleuve Guayas),
- CRM (Centre de Réhabilitation de la Province du Manabí),
- CREA (Centre de Reconversion Économique de la partie Australe).

Au niveau national, on peut également citer :

- INECEL (Institut Équatorien de l'Électrification),
- IEOS (Institut Équatorien des Ouvrages Sanitaires), chargé de l'alimentation en eau potable.

## **II. ANTÉCÉDENTS**

De nombreuses études et plusieurs schémas d'intervention ont déjà été consacrés au Plan National d'Irrigation et au Plan National des Ressources Hydriques.

### **1. SOGREA- INERHI - 1977**

La coopération entre les 2 instituts avait pour objectif de réaliser un diagnostic sur la situation des ressources hydriques de l'Équateur afin d'élaborer postérieurement un Plan National des Ressources Hydriques.

Après un premier diagnostic sur l'état actuel des connaissances dans le domaine des ressources hydriques, le rapport détaille les études nécessaires pour améliorer ces connaissances, et analyse les tendances actuelles ainsi que l'évolution probable de la demande globale.

La seconde partie démontre la nécessité de régionaliser la planification par systèmes hydrauliques indépendants et présente les séquences de travail nécessaires pour élaborer les plans directeurs de gestion de l'eau dans chaque système.

Enfin, l'étude aborde également l'aspect institutionnel et propose la création d'une commission de l'eau, dirigée par l'INERHI et chargée de veiller à la bonne coordination des différents programmes d'utilisation de l'eau, conformément aux objectifs nationaux de développement.

Ce projet de coopération technique n'a pas eu de suites concrètes.

### **2. ORSTOM-CONADE - 1982**

En 1982, l'organisme suprême de planification (CONADE) prit des contacts avec l'ORSTOM (Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération) pour analyser la possibilité de constituer un groupe binational qui aurait comme objectif de rationaliser l'usage de l'eau au niveau national.

L'idée générale était de considérer l'eau comme l'élément fondamental des processus de planification, sachant que :

- le montant des investissements relatifs aux projets hydrauliques en général est le plus élevé du pays, exception faite des investissements consacrés au pétrole ;
- l'ordre de priorité et la construction des projets ne tiennent pas compte des impacts actuels et futurs en aval ;
- les ressources hydriques, leur utilisation et leur rationalisation intègrent et conditionnent un grand nombre de facteurs du développement en général.

Pour atteindre les objectifs annoncés, le projet considérait nécessaire de disposer d'un instrument adéquat et d'une structure qui le fasse fonctionner. Pour cela, il était prévu :

- l'élaboration d'un modèle mathématique intégral qui constituerait l'instrument analytique de coordination entre les différents paramètres de la ressource en eau et des secteurs dans lesquels elle intervient ;
- la création d'une structure administrative (SINAPRHI) chargée de l'alimentation permanente du modèle, de l'analyse et de l'interprétation des résultats.

Le projet, prévu pour 5 ans, comprenait 3 étapes successives :

- élaboration du modèle mathématique ;
- alimentation du modèle et analyse de cohérence entre les différents plans de développement ;
- mise en place du SINAPRHI.

Finalement, le projet de coopération ne s'est pas conclu car l'INERHI fit valoir ses droits exclusifs dans le domaine de l'utilisation de l'eau.

### III. SITUATION ACTUELLE

#### 1. Convention ORSTOM-PRONAREG

Après avoir réalisé l'inventaire complet des ressources renouvelables de l'Équateur, le projet ORSTOM-PRONAREG s'est orienté vers des études plus spécifiques. Le département d'Hydrologie termine actuellement :

- la quantification et l'inventaire de l'usage actuel et potentiel de l'eau ;
- la détermination d'alternatives en vue de satisfaire la demande agricole.

L'étude aborde le problème de la planification en donnant priorité aux facteurs physiques et climatiques et en essayant de répondre aux questions suivantes : où, combien et quand, avec quoi irriguer ?

##### 1.1. Où irriguer ?

Sur la base des analyses pluviométriques et climatologiques effectuées dans la phase d'inventaire, il a été possible de tracer des lignes d'égal déficit hydrique à partir desquelles ont été définies 5 classes de besoins en irrigation.

Dans les zones ainsi déterminées, l'aptitude du sol à l'irrigation a été estimée en tenant compte de la qualité agronomique des sols, de leurs facteurs limitants (pH, présence de sel, texture, profondeur, etc.) et de leur pente.

La prise en compte de ces deux facteurs a permis de détecter et de classer les zones potentiellement irrigables.

### 1.2. *Quand et combien irriguer ?*

Les mois agronomiquement secs ont été définis en considérant une RFU de 50 mm. La demande globale des zones actuellement sans irrigation a été calculée en tenant compte des doses réellement appliquées par les paysans et en faisant quelques hypothèses sur les caractéristiques des systèmes. La demande des zones imparfaitement irriguées a été estimée après étude de zones témoins.

### 1.3. *Avec quoi irriguer ?*

La construction de grands barrages régionaux n'est pas prise en compte et l'analyse s'intéresse principalement aux possibilités locales (barrages collinaires, prises directes, puits, etc.).

L'estimation du potentiel en eau souterraine est basée sur la cartographie, la géologie, l'inventaire des points d'eau, la variation des débits des sources, plusieurs sondages et essais de pompage. Le volume utilisable est précisé par des bilans hydriques.

L'étude des ressources en eau superficielle est basée sur l'analyse de l'information existante et l'utilisation de zones hydrologiquement homogènes, qui ont permis d'extrapoler les résultats du réseau à des petits bassins unitaires (50 à 150 km<sup>2</sup>) dans lesquels les facteurs conditionnels de l'écoulement sont considérés comme homogènes.

Dans chaque bassin, sont estimés les modules mensuels et annuels, les caractéristiques d'étiage, de dispersion saisonnière et interannuelle.

À partir du bilan offre-demande, on peut définir les bassins déficitaires dont les demandes en eau pourront être satisfaites sans régulation et les bassins sans intérêt agricole dans lesquels pourraient être construits des barrages collinaires qui alimenteraient les autres zones potentiellement irrigables.

La publication des résultats est pratiquement terminée.

## 2. **Convention INERHI-CEDEX**

Le Centre d'Études Expérimentales du Ministère des Travaux Publics d'Espagne (CEDEX) est en train d'élaborer le Plan National des Ressources Hydrauliques de l'Équateur. Ce Plan aborde évidemment l'aspect irrigation et comporte 2 phases successives d'un an chacune (1985, 1986).

### 2.1. *Première phase*

Elle est orientée vers la planification de l'usage actuel de l'eau des points de vue agricole, domestique et énergétique, après calcul des bilans entre offre et demande. L'évaluation des ressources est sélective et fonction des demandes.

Le premier travail a été d'identifier des Unités Potentielles de Demande (UPD) pour essayer de localiser les consommations d'une certaine importance. Les UPD d'irrigation ont été identifiées sur la base des critères sols-climat et en utilisant la plupart des résultats publiés par ORSTOM-PRONAREG.

Les besoins en eau de chaque UPD d'irrigation ont été calculés de la manière suivante :

- calcul de la superficie nette en prenant 80 % de la superficie brute et en estimant que seulement 50 % des sols avec limitations sévères sont irrigables ;
- détermination d'un modèle de culture sur la base de l'usage actuel et potentiel ;

- calcul des valeurs moyennes mensuelles et annuelles de la pluie effective en prenant 80 % des valeurs moyennes de la pluie totale ;
- bilan hydrique moyen en tenant compte du modèle de culture (coefficient de culture et d'occupation).

L'usage actuel de l'eau est obtenu sur la base des résultats du projet ORSTOM-PRONAREG complétés par des données plus précises sur l'irrigation d'État. Sur la Côte, ORSTOM-PRONAREG ne s'est pas occupé de l'irrigation actuelle ; cette dernière est donc estimée d'après la carte sur la végétation et les cultures.

L'estimation des ressources potentielles est réalisée grossièrement dans tout le pays et précisée uniquement dans les bassins conflictuels.

La comparaison offre-demande devrait permettre de classer les UPD selon leur disponibilité en eau et les conflits qu'elles peuvent générer.

Il est prévu de fournir des recommandations quand à la distribution des concessions d'eau et à l'organisation institutionnelle d'une autorité de l'eau.

## 2.2. *Seconde phase*

Elle est consacrée à la planification des investissements en matière d'hydraulique et comprend les travaux suivants :

- estimer les initiatives nécessaires pour satisfaire les différents types de demande d'eau à un horizon de planification défini ;
- évaluer et hiérarchiser chaque type d'initiative en fonction d'une série déterminée de critères.

Pour la partie relative au Plan National d'Irrigation, les productions agricoles théoriques sont estimées sur la période 1985-2010, à partir de l'analyse des données de la période 1974-1984 et en tenant compte des augmentations probables dans les rendements, la mise en culture de nouvelles terres et la construction des projets en cours.

Sur la même période (1985-2010), les demandes alimentaires sont calculées en tenant compte de l'accroissement de la population et de l'évolution de la consommation en établissant comme objectif final une diète alimentaire bien équilibrée et suffisante.

Le calcul se fait au niveau national et uniquement pour une série de produits recommandés par la FAO et l'OCDE et suffisants pour une alimentation adéquate.

Les comparaisons entre offre et demande permettent d'estimer les déficits futurs pour chaque produit.

Les actions nécessaires pour combler ces déficits sont de 2 types : projet nouveau ou amélioration des systèmes existants. Ce dernier aspect n'est pas pris en compte. Les projets nouveaux sont identifiés à partir des meilleures UPD. Leur hiérarchisation est faite à partir de critères économiques, sociaux, de conservation du sol, politiques et autres (intérêt des bénéficiaires, conditions de commercialisation, propriété, distribution de la terre, etc.).

Le projet doit se terminer au plus tard en février 1987 et il est certain que les engagements pris ne seront pas tenus.

### 3. Inventaire de l'irrigation actuelle

Le Département de Programmation de l'INERHI a élaboré un plan de travail pour enfin connaître, mesurer et évaluer le fonctionnement de l'infrastructure de l'irrigation actuelle. Ce travail devrait donner aux autorités une information réelle leur permettant de prendre des décisions, de contrôler et suivre les ouvrages que l'INERHI doit réaliser avec son budget.

L'inventaire serait effectué au niveau national et comprendrait 3 étapes :

- systèmes d'irrigation gérés par l'INERHI (8 mois),
- systèmes gérés par d'autres institutions publiques (5 mois en 1987),
- irrigation privée (7 mois en 1987).

Le travail de terrain devrait fournir des informations sur :

- la surface d'influence du projet ;
- le nombre de familles intéressées ;
- les points de captage ;
- le nombre et la surface des unités de production ;
- le système de propriété ;
- le patron de cultures ;
- les caractéristiques d'infrastructure.

Ce projet montre bien la méconnaissance de l'irrigation actuelle.

### IV. CONCEPTION GÉNÉRALE D'UN PLAN NATIONAL D'IRRIGATION (tentative)

D'après le contexte décrit précédemment, le Plan National d'Irrigation est la réponse à une analyse socio-économique. Cette réponse comprend une identification, une caractérisation et une hiérarchisation d'actions qui permettent d'atteindre les objectifs fixés et doivent renseigner le planificateur<sup>1</sup> sur :

- l'augmentation de production prévue (par produit) afin de déterminer le nombre de projets à mettre en œuvre ;
- la durée des travaux et le temps d'évolution de chaque projet pour déterminer les dates de mise en chantier ;
- le montant des investissements nécessaires afin de prévoir les dotations budgétaires adéquates.

S'il est techniquement possible d'estimer l'augmentation de production prévue pour chaque culture, ces résultats n'ont parfois aucune signification réelle. Dans un pays démocratique comme l'Équateur, les paysans ne sont pas obligés de se conformer au modèle de cultures prévu. Dans certains cas, les cultures réelles sont totalement différentes de celles prévues et ne répondent même plus aux objectifs d'autosuffisance alimentaire (projet Montúfar par exemple). La seule manière de contenir cette « variable aléatoire » est de contrôler la distribution de l'eau et d'impulser financièrement les « bonnes » cultures.

Actuellement, le modèle de cultures attribué à chaque projet tient compte de l'usage actuel et potentiel, ce qui paraît logique si l'on tient compte du poids de la tradition. Malheureusement, le changement du milieu naturel implique des changements de la structure traditionnelle de production. Le changement est d'autant plus grand que le milieu naturel est aride et que le niveau culturel des paysans est élevé.

Dans les projets d'amélioration, les prévisions ont plus de chances de se réaliser car il n'y a pas de rupture de la structure de production.

Dans ce cas, l'usage actuel peut être considéré comme une prévision à peu près sûre.

<sup>1</sup> Par simplification, on appellera « planificateur » la personne, le groupe de personnes ou l'institution chargé de prendre les décisions en accord avec la politique gouvernementale.

L'analyse de tous les projets de l'INERHI actuellement en fonctionnement (60 environ) devrait nous permettre de mesurer la différence entre le réel et le prévu et d'établir les facteurs qui déterminent ces différences.

La durée des travaux correspondant aux ouvrages d'infrastructure peut s'estimer à partir des études et synthèses faites par l'INERHI. Le temps d'évolution des projets devra s'analyser sur la base des projets existants. Dans le livre *Irrigation* d'OLLIER et POIRÉE, des résultats concernant des systèmes américains et français montrent que le temps d'évolution est assez long et peut se raccourcir avec une assistance technique et économique adéquate. La réalité équatorienne est cependant différente. Selon la Loi sur l'eau (article 51), l'irrigation est obligatoire dans les propriétés dominées par les canaux d'aménée. Donc, une fois l'infrastructure terminée, le périmètre irrigué devrait être égal au périmètre irrigable. Ce n'est pas le cas. Une étude approfondie (ex-post) de l'irrigation publique permettra d'avoir une idée sur ce facteur important.

Les fonds nécessaires à la construction de l'infrastructure se déterminent à partir de « l'étude sur l'évaluation des projets au niveau préliminaire » menée par le Département du Plan National d'Irrigation. Il faudra certainement l'actualiser et la préciser. Quant aux coûts d'assistance technique en formation et en fonctionnement, ils seront étudiés sur les systèmes actuels.

Comme on peut le voir, l'étude de l'irrigation actuelle est donc un élément important et permettra de préciser un certain nombre de facteurs fondamentaux.

Actuellement, les objectifs poursuivis correspondent à une autosuffisance alimentaire. Néanmoins, la forte baisse des cours du pétrole incite le Gouvernement à chercher d'autres sources de devises. L'exportation de produits agricoles en est une. La hiérarchisation des projets peut également être modifiée par de nouvelles orientations politiques qui se traduisent généralement par des priorités géographiques (la création de PREDESUR obéit à une volonté de développer en priorité une frontière contestée).

La hiérarchisation peut également dépendre de la nature du gouvernement.

Le gouvernement actuel met l'accent sur les critères économiques ; l'ancien favorisait plutôt ceux dont l'apport social était important.

Dans tous les cas, le Plan National d'Irrigation et par conséquent la hiérarchisation des projets, est un élément variable et dépendant de facteurs (stratégiques, politiques...) strictement internes à l'Équateur. Par contre, il est possible de construire des instruments de décision capables de s'adapter à différentes stratégies en considérant le Plan comme une série d'opérations distinctes et successives.

## **1. Caractérisation des projets**

On peut considérer cette opération comme l'élaboration d'une matrice dont chaque ligne représente un projet et chaque colonne un paramètre de caractérisation. Cette matrice constitue un instrument d'aide à la décision et elle est indépendante du Plan. C'est le planificateur et la hiérarchisation postérieure qui permettent de passer de la matrice au Plan.

La matrice de caractérisation est donc un instrument permanent dont les paramètres sont flexibles et peuvent être réactualisés ; le nombre de paramètres peut varier ainsi que le nombre de projets. Ces qualités sont mieux utilisées si la matrice de caractérisation est mise sur fichier informatique en utilisant des logiciels du type D BASE.

Au lieu d'utiliser les paramètres universels que l'on retrouve dans les manuels, on essaiera de détecter les paramètres les plus influents en Équateur grâce à l'étude et au diagnostic de l'irrigation actuelle.

On peut considérer déjà que les paramètres seront de 3 types.

### *Valeurs nominales*

Il s'agit surtout des paramètres de type indicatif (localisation type de culture) nécessaires au planificateur pour se conformer aux orientations politiques en vigueur, mais qui ne peuvent ni se comparer ni se hiérarchiser.

### *Paramètres indépendants*

Il sont intrinsèques au projet c'est-à-dire indépendants des autres activités touchant à l'eau. Ils caractérisent principalement les aspects agronomiques, sociaux et économiques. Ils peuvent être représentés par des valeurs ordinales ou cardinales mais mesurables, comparables et hiérarchisables. Généralement, ces paramètres varient lentement selon l'évolution normale du développement national. Ils peuvent donc être réactualisés à l'occasion des grandes enquêtes ou à la publication d'études spécifiques.

### *Paramètres relatifs*

C'est le cas, principalement, de la disponibilité en eau. Le bilan offre-demande permet de savoir si un projet dispose de suffisamment d'eau et s'il a besoin de régulation. Il doit également permettre de mesurer des impacts actuelles et futurs sur la demande aval. Seul un modèle mathématique peut les estimer en tenant compte de l'usage actuel, des ouvrages en construction et en projet, en simulant l'évolution de la demande aval et en la caractérisant suivant les priorités définies par la Loi.

Dans tous les cas, la disponibilité en eau d'un projet doit être calculée avec précision étant donné son influence sur le coût et la viabilité d'un projet.

## **2. Présélection**

Une fois la matrice de caractérisation constituée, le planificateur effectue une première sélection en agissant principalement sur les paramètres non structurés (localisation administrative, type de production possible...) et selon les orientations gouvernementales en vigueur.

## **3. Analyse et hiérarchisation**

Dans les projets présélectionnés on élimine les paramètres non structurés ne conservant que ceux pouvant être ordonnés et représentés par des valeurs cardinales ou ordinales continues ou discrètes et hétérogènes. On constitue ainsi la matrice de décision à partir de laquelle se fera la hiérarchisation. Il y a encore peu de temps, on utilisait les moyennes pondérées qui permettaient de passer à une analyse unidimensionnelle par agrégation des différentes paramètres.

Il est certain que cette méthode mutilé l'observation et déforme donc la décision car un projet peut difficilement être caractérisé par un seul chiffre. L'utilisation des ordinateurs a favorisé l'apparition d'un grand nombre de modèles d'analyse multidimensionnelle (somme pondérée des rangs, hiérarchisation ascendante après partition, aide à la décision en présence de critères multiples, processus Electre...). La méthode qu'il conviendra de choisir dépendra en grande partie du type de variables de la matrice de décision.

Une fois un projet sélectionné, il faut analyser son impact sur les autres projets de la matrice de décision et modifier (si nécessaire) les critères de disponibilité en eau. La présélection des projets, leur analyse et hiérarchisation sont des opérations qui peuvent se faire rapidement si le traitement des données s'opère sur ordinateur après élaboration d'une banque de données adéquate.

## **4. Conclusion**

L'élaboration du Plan National d'Irrigation doit utiliser les résultats des travaux précédents, détailler ou compléter les aspects peu étudiés, pour déterminer des paramètres précis et adaptés au milieu local qui permettront de caractériser objectivement l'ensemble des pro-

jets possibles. Le planificateur disposera alors d'instruments satisfaisants et permanents pour élaborer une hiérarchisation à partir de plusieurs critères. Pour atteindre cet objectif, il sera nécessaire d'effectuer l'étude et le diagnostic de l'irrigation actuelle, d'adapter un modèle mathématique pour établir le bilan offre-demande actuel et futur et de simuler ainsi les scénarios possibles.

## V. IDENTIFICATION ET CARACTÉRISATION DES PROJETS

En termes généraux, l'accroissement de la production agricole nationale peut se faire en augmentant la production sous conditions naturelles (colonisation de nouvelles terres, amélioration des rendements) ou par des actions touchant à l'irrigation. On suppose que les prévisions concernant la production agricole future intègrent le premier aspect qui, en plus, ne concerne pas l'INERHI.

### 1. Introduction

La comparaison entre zones potentiellement irrigables (UPD) et les périmètres déjà sous irrigation permet de distinguer plusieurs cas possibles :

- Lorsque le système existant occupe toute la surface de l'UPD, l'augmentation de la production ne peut se faire qu'en améliorant le rendement sous irrigation.
- Quand seulement une partie de l'UPD est irriguée, l'augmentation de la production s'obtient en améliorant les rendements du système existant et en l'étendant à toute l'UPD.
- Les autres cas concernent la mise en œuvre de nouveaux projets.
- On rencontrera également de nombreux cas où la superficie irriguée sera supérieure à la potentiellement irrigable. Ces cas de figure ne devront pas être automatiquement écartés car la délimitation d'une UPD n'obéit pas à des critères figés et l'échelle de travail n'est pas assez précise pour émettre des conclusions définitives. L'intérêt qu'on portera à ces cas dépendra beaucoup de leur importance (nombre et surface).

Cette comparaison entre l'actuel et le potentiel et la prise en considération des ressources hydriques et des coûts de construction (infrastructure) devraient permettre d'examiner plusieurs stratégies possibles pour chaque projet (irriguer toute la surface potentielle avec peu d'eau ou une partie avec suffisamment d'eau...). L'objectif sera de déterminer la formule donnant la meilleure augmentation de production globale.

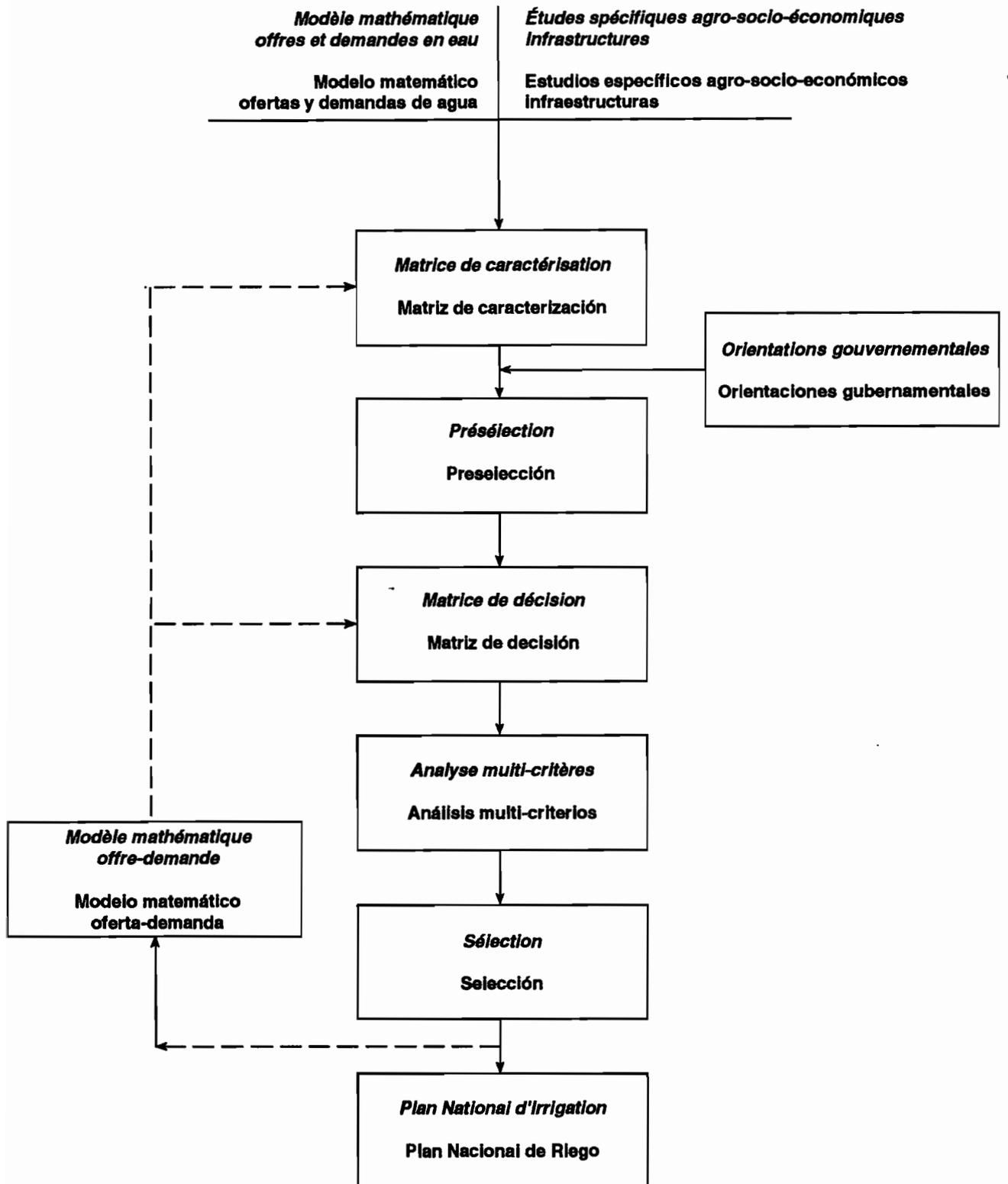
Actuellement, on dispose de données sur les rendements des cultures sous conditions naturelles grâce aux recensements agricoles effectués par le Ministère de l'Agriculture et aux travaux ORSTOM-PRONAREG (Département d'Agro-socio-économie). Les publications de l'Institut National des Recherches Agricoles (INIAP) nous donnent les valeurs des rendements potentiels.

En revanche, il existe très peu d'information sur les rendements des cultures irriguées. Il faudra donc les étudier à partir de travaux de terrain. Cela peut paraître ambitieux pour des résultats peu tangibles étant donné que normalement les cultures irriguées ont déjà un très bon rendement, surtout les systèmes publics qui disposent d'une bonne infrastructure. Pour démontrer le contraire, il suffit de citer la conclusion du seul « ex-post » rencontré et qui concerne un des projets pilotes de l'INERHI : le projet El Pisque situé près de Quito :

« Le potentiel du projet El Pisque est encore important ; les bas rendements actuels de la majorité des cultures traditionnelles font qu'il est possible d'au moins quadrupler la production globale des terres irriguées. »

C'est-à-dire que, malgré de lourds investissements, les résultats sont décevants. En période de restriction budgétaire, il est intéressant de chercher à rentabiliser l'argent investi.

**RELATIONS ENTRE LES DIFFÉRENTES PARTIES**  
**RELACIONES ENTRE LAS DIFERENTES PARTES**



L'irrigation privée est plus complexe et encore peu connue. Selon les dernières estimations, l'irrigation actuelle occupe 420 000 hectares dont 80 % correspondent au secteur privé. Il existe malheureusement peu de données sur les conditions de fonctionnement. Les résultats ORSTOM-PRONAREG concernant quelques systèmes actuels témoignent de rendements faibles par insuffisance d'eau. Étant donné la grande superficie qu'elle occupe, il est donc important d'effectuer l'étude et le diagnostic de l'irrigation privée. L'augmentation de production qu'on peut en attendre peut être très importante et les investissements réduits. L'amélioration du secteur privé permettrait en plus d'améliorer le niveau de vie des zones actuellement défavorisées et d'éviter les conflits relatifs à l'usage de l'eau.

L'étude en elle-même permettra également à l'INERHI de connaître l'irrigation actuelle et donc à la Division d'Administration des Eaux de faire correctement son travail.

Enfin, la matrice de caractérisation doit permettre au planificateur de choisir les différents cas de figure ; tous les types de projets doivent donc être caractérisés de la même manière.

## **2. Localisation des projets**

### **2.1. Localisation des UPD**

Le projet ORSTOM-PRONAREG (Département d'Hydrologie) a localisé les zones potentiellement irrigables sur des cartes au 1/200 000, à partir de critères physiques et climatiques comme le déficit hydrique annuel, le nombre de mois secs, les sols et les caractéristiques géomorphologiques. Dans les régions climatiquement intéressantes, il a été tenu compte de :

- la qualité agronomique des sols,
- leur vocation agricole,
- l'existence de facteurs limitants,
- les pentes,
- l'altitude des zones considérées.

L'analyse de ces différents facteurs par une équipe pluridisciplinaire a permis de délimiter des zones potentiellement irrigables et de les classer suivant l'échelle de valeurs suivante :

- classe 1 : bons sols et pentes faibles (< 12 pour cent)
- classe 2 : sols moyens et pentes faibles
- classe 3 : sols médiocres de pentes faibles à n'exploiter qu'en cas d'excès d'eau

Chaque classe est divisée en sous-catégories en fonction du facteur limitant principal (pente, présence de roches, texture, profondeur, pH, risque d'inondation, etc.).

Ces études couvrent la majeure partie des zones climatiquement déficitaires et devraient être terminées et publiées avant la fin de l'année.

D'autre part, le projet INERHI-CEDEX a élaboré un inventaire national des UPD présenté par grands bassins hydrographiques et au 1/200 000. Cet inventaire s'est appuyé sur les cartes d'aptitudes agricoles ORSTOM-PRONAREG pour classer les sols selon les 4 catégories suivantes :

- classe A : sans limitation ou avec limitations légères
- classe B : avec limitations modérées
- classe C : avec fortes limitations
- classe X : inaptés

La similitude entre cet inventaire et celui d'ORSTOM-PRONAREG est très grande. Les différences proviennent surtout de l'importance donnée au facteur pente. Le deuxième travail considère que l'irrigation par gravité accepte des pentes supérieures à 12 pour cent. Une comparaison faite sur les cartes de Salinas et Jipijapa donne pour les 2 classements, la correspondance suivante :

1, 1p	→	A
2	→	A ou B
2p, 3, 3p	→	B
2pp	→	C
3pp	→	C ou X

La réduction à 3 classes d'aptitudes amène une perte d'information sur les facteurs limitants qui n'est peut-être pas gênante au niveau d'un Plan Hydraulique mais qui devra être corrigée au niveau d'un Plan d'Irrigation car les facteurs limitants peuvent augmenter le coût d'un projet (préparation du sol, augmentation de la dotation en eau en présence de sol...).

## 2.2. Localisation et diagnostic de l'irrigation publique

Elle se fera à partir de l'inventaire de l'INERHI (cf. paragraphe III.3). Une première caractérisation sera possible en complétant et en précisant les enquêtes prévues. Cet inventaire permettra également d'évaluer certains paramètres (évolution dans le temps du rapport entre le périmètre irrigué et le périmètre irrigable).

On élaborera ensuite une typologie des systèmes d'irrigation et on sélectionnera des systèmes représentatifs de chaque catégorie dans lesquels seront réalisées des études de terrain précises qui auront comme objectifs fondamentaux :

- évaluer les rendements et les facteurs limitants principaux ;
- estimer les impacts secondaires (création d'industries agro-alimentaires, bénéfices sociaux, etc.) ;
- calculer les caractéristiques d'infrastructure (efficacité de l'amenée et de la distribution d'eau, consommation...).

Pour cela, il sera nécessaire :

- d'évaluer le volume d'eau disponible, les principales pertes, les dotations disponibles au niveau de la parcelle et le système de dotations ;
- d'évaluer les coûts d'opération et de maintenance des systèmes ;
- d'étudier les structures agraires : type de propriétés, discrimination par taille, distribution de la terre et de l'eau selon les systèmes d'irrigation, efficacité de l'irrigation ;
- d'analyser les aspects sociaux : niveau de vie, adéquation de l'agriculteur au système d'irrigation, migration, force de travail, infrastructure des services ;
- d'étudier l'aspect agro-économique : caractéristiques de la production, changement des types de cultures, rentabilité par hectare et taille d'exploitation, mécanismes de financement, assistance technique, organisation et types d'association des usagers ;
- d'analyser la commercialisation : infrastructure de transport, de stockage et de distribution.

Les résultats permettront de faire un diagnostic de l'irrigation publique et de distinguer les projets les plus intéressants.

### **2.3. Localisation et diagnostic de l'irrigation privée**

Dans le couloir interandin, les zones déficitaires sont en grande partie irriguées par des systèmes complexes où cohabitent une infrastructure ancienne construite par les Incas et des canaux récents autorisés par l'INERHI. Sur la Côte, l'irrigation est plus récente et a commencé avec le courant migratoire en provenance de la Sierra surpeuplée. Elle s'est développée par l'exploitation de cultures d'exportation (cacao et banane). Elle y est plus structurée et composée d'ensembles plus vastes.

Sur la localisation de ce type d'irrigation on dispose de 3 types d'information :

- L'article 98 de la Loi sur l'eau oblige tous les utilisateurs à s'inscrire à l'INERHI en indiquant les caractéristiques principales de l'infrastructure et le type d'usage prévu. À partir de ces données, l'Institut autorise une certaine quantité d'eau à chaque utilisateur. Ces concessions sont enregistrées dans les agences régionales de l'INERHI, lesquelles peuvent ainsi faire l'inventaire approximatif de l'utilisation de l'eau et de sa consommation. Ces études, connues sous le nom de « monographies et plans » ou « tableaux et plans d'inventaire » sont de valeur inégale, d'époques différentes (de 1966 à 1985) et ne couvrent pas tout le pays. Elles pourraient cependant servir de base de départ vu qu'elles contiennent déjà certaines caractéristiques (dessin des canaux, état des ouvrages, nombre des bénéficiaires, etc.).

Malheureusement, les plans ne font pas apparaître les surfaces irriguées et l'inventaire est incomplet du fait que tous les usagers ne respectent pas la loi. Il faudra donc les compléter.

- Il existe d'autre part des études assez complètes mais très localisées et financées par des organismes internationaux et équatoriens. Il est difficile de se faire une idée exacte de la valeur de ces études généralement volumineuses qui serviront seulement à préciser certaines caractéristiques.
- Il faut enfin mentionner les cartes d'utilisation du sol publiées par le projet ORSTOM-PRONAREG et qui montrent les zones irriguées de la Sierra au 1/500 000. Élaborées par le Département de Géographie, ces cartes distinguent les unités dans lesquelles l'irrigation occupe plus ou moins de 50 % de la surface. Le travail est le fruit des techniques de photo-interprétation appuyées par des vérifications de terrain.

En photo-interprétation l'irrigation se distingue par la tonalité. Une zone irriguée est immédiatement séparée des unités environnantes car son image photographique s'en détache très bien. L'interprétation s'est faite sur des photographies de 1963, bien plus nettes que les vols postérieures.

Les vérifications de terrain ont été faites sur environ 80 % des unités identifiées. Elles ont apporté des précisions intéressantes surtout dans les petites zones d'irrigation. Ces travaux, réalisés de 1976 à 1982, ont permis de vérifier que l'irrigation privée n'avait pratiquement pas varié ces dernières années ce qui paraît logique étant donné son installation très ancienne.

Pour la partie côtière, il est dommage que les cartes des formations végétales et d'utilisation du sol n'aient pas tenu compte de l'aspect irrigation.

Donc, si les travaux antérieurs contribuent à localiser à peu près l'irrigation privée (surtout dans la Sierra), ils sont trop imprécis pour faire son diagnostic et devront être complétés par les travaux suivants :

- a. regroupement de toute l'information existant sur les cartes d'ORSTOM-PRONAREG au 1/500 000 ;
- b. délimitation des périmètres irrigués par photo-interprétation et première caractérisation en s'aidant des bulletins de terrain incomplètement utilisés (dessin des canaux

d'amenée, points de captage, type de cultures, taille moyenne des parcelles...) ; (quelques expériences ont été réalisées avec le personnel du PRONAREG et on prévoit à peu près une semaine pour remplir une carte au 1/50 000) ;

- c. typologie et classement par catégories ;
- d. sélection de systèmes représentatifs de chaque catégorie ;
- e. étude approfondie des périmètres sélectionnés (cf. irrigation publique) ;
- f. détermination des facteurs limitants principaux et de leur variation ;
- g. diagnostic et sélection des systèmes les plus intéressants.

### 3. Disponibilités en eau

Comme on l'a expliqué au chapitre précédent, les disponibilités en eau sont un paramètre dépendant et extrêmement variable. Seul un modèle mathématique permettra de les estimer avec précision dans tout l'espace, de suivre leur évolution prévisible ou de les réévaluer rapidement si nécessaire.

La décade serait l'intervalle de temps idéal pour un modèle à vocation agricole mais il vaut mieux considérer cela comme un objectif à long terme.

Les données hydroclimatologiques de l'INERHI sont calculées mensuellement et il serait nécessaire de les remodeler complètement, ce qui paraît impossible avec les délais d'exécution prévus. On se contentera donc d'un pas de temps mensuel en attendant la banque de données future de l'INAMHI et le travail s'effectuera par grands bassins hydrographiques, déjà délimités par l'INECEL et dont les dimensions varient de 360 km<sup>2</sup> (Carchi) à 32 700 km<sup>2</sup> (Guayas).

L'étude des disponibilités en eau se fera par comparaison entre ressource restante, demande potentielle et utilisation actuelle. Ce dernier facteur sera estimé par le diagnostic de l'irrigation actuelle et en utilisant les résultats du projet INERHI-CEDEX pour les utilisations domestiques, industrielles et énergétiques.

#### 3.1. Étude des demandes

Il s'agit en fait de traduire les nécessités actuelles et futures en termes de demandes, selon la nature de l'utilisation, la quantité et la qualité requises, le coût et l'efficacité de la distribution, les impacts économiques et sociaux qui en découlent.

Actuellement, le calcul des demandes pour l'irrigation se fait de la manière décrite au paragraphe III.2.1. Les caractéristiques des systèmes d'irrigation (efficacité, superficie nette, etc.) sont estimées globalement sur la base des résultats obtenus pour un projet déterminé. L'analyse de l'irrigation publique permettra d'améliorer grandement la précision et la variation de ces paramètres qui jouent un rôle important dans l'estimation de la consommation en eau. Le calcul des bilans entre pluie et évapotranspiration doit s'améliorer principalement dans les aspects suivants :

- Pour le moment, la comparaison se fait entre moyennes interannuelles ce qui empêche de détecter les mois réellement déficitaires. La comparaison entre moyennes peut faire apparaître un mois comme excédentaire alors qu'il est déficitaire 4 années sur 10. Cette différence est valable pour le mois considéré mais également pour le mois suivant si l'on tient compte de la réserve en eau du sol.
- La transposition des valeurs climatiques des stations aux zones potentiellement irrigables est faite de manière arbitraire par manque de zonage climatique.

- enfin, les données utilisées pour le calcul de la pluie et de l'ETP n'ont pas été vérifiées. Le passage de quelques stations en simple et doubles masses a révélé de erreurs importantes (pluies annuelles de 32 500 mm par exemple).

En fait, il est nécessaire de commencer par le début. À partir des données originales, il faudra détecter les séries chronologiques hétérogènes, corriger, supprimer et choisir les périodes adéquates, choisir une période de référence représentative sur laquelle on essaiera d'étendre les stations valables pour élaborer une petite banque de données propre à l'INERHI (ce qui correspond à ses attributions selon le paragraphe f de l'article 3 de la Loi de création de l'institut). Une telle banque nous permettra de réaliser un zonage climatique nécessaire à l'étude fréquentielle des besoins.

La méthodologie est connue, les programmes existent (3 sont déjà archivés) ; le seul problème viendra de la capacité du micro-ordinateur de la Direction de la Planification (un seul disque dur de 10 Mo).

Pour les demandes en eau des autres secteurs, il est encore trop tôt pour connaître les études qui seront nécessaires. Ce thème est actuellement analysé par le projet INERHI-CEDEX et il faut attendre les résultats. Il existe de nouvelles études sur la croissance de la population au niveau des paroisses dont il faudra également tenir compte. Ces résultats qui tiennent compte du dernier recensement sont le fruit de la collaboration entre l'ORSTOM et l'Institut Géographique Militaire (IGM).

### 3.2. *Étude des ressources*

Si le réseau hydrométrique nous donne les débits disponibles aux stations, sa faible densité spatiale ne nous permet pas d'estimer les ressources hydriques aux points intéressants (UPD). Il sera donc nécessaire de générer des séries chronologiques à ces endroits en utilisant un modèle déterministe pluie-débit. Un tel modèle utilise des paramètres qui définissent les fonctions de production et de transfert. Ces paramètres varient selon la nature des bassins versants et devront être calibrés en comparant les débits générés aux débits réels. Il sera donc nécessaire d'effectuer les études suivantes :

- compléter les bassins unitaires d'ORSTOM-PRONAREG et leurs caractéristiques; déjà 1 650 bassins ont été définis et leurs principales caractéristiques calculées pour déterminer les bassins hydrologiquement homogènes; ce gros travail servira de point de départ et il sera peut-être nécessaire de préciser d'autres caractéristiques selon le type de paramètre du modèle choisi ;
- calcul des séries pluviométriques mensuelles et annuelles sur la période de référence choisie et pour chaque bassin unitaire ; calcul de l'ETP sur les mêmes bassins ;
- localisation des points d'impact (utilisation actuelle et potentielle) de chaque bassin ; classement par priorité ;
- analyse des données hydrométriques et sélection de stations fiables ; prise en compte du diagnostic effectué par ORSTOM-PRONAREG ;
- reconstruction des séries chronologiques naturelles par addition de l'utilisation actuelle et historique ; analyse statistique des caractéristiques des écoulements ;
- transposition des débits naturels à l'exutoire des bassins unitaires ; étude de propagation dans les grands bassins hydrographiques ;
- calibrage du modèle sur plusieurs bassins unitaires; étude de la variation des paramètres en fonction des caractéristiques des bassins ;
- définition des paramètres pour chaque bassin unitaire ; application du modèle à tout le bassin hydrographique ;

- calibrage et définition du modèle.

On fera ensuite une première simulation en tenant compte de l'utilisation actuelle de l'eau pour détecter les zones où existent déjà des problèmes. Les résultats seront transposés aux exutoires des bassins utilisés par la Direction d'Administration des Eaux.

Cette première simulation permettra également de préciser le volume d'eau utilisable dans les aquifères. Il n'est pas prévu d'études spéciales dans ce domaine. L'analyse faite par ORSTOM-PRONAREG est suffisante.

On essaiera ensuite de définir, pour chaque projet, un critère de disponibilité en eau, en simulant les divers scénarios possibles sur la période de planification prévue et en tenant compte de :

- l'utilisation actuelle de l'eau et son évolution tant en amont qu'en aval du projet ;
- les possibilités d'utiliser l'eau souterraine en cas de conflit ;
- les priorités affectées par la Loi à chaque type d'utilisation.

#### **4. Conclusion**

L'étude et le diagnostic de l'irrigation actuelle permettront de sélectionner les projets d'amélioration valables, d'identifier ses caractéristiques les plus importantes et de les calculer avec précision. Les mêmes caractéristiques seront calculées dans le cas de nouveaux projets afin que le planificateur puisse choisir facilement entre les deux types d'action.

Le bilan entre offre et demande fournira le critère de disponibilité en eau, dernier paramètre de la matrice de caractérisation. La hiérarchisation et la sélection se feront selon le processus décrit au chapitre IV.

## **VI. DOCUMENTS CONSULTÉS**

- 1966 - Loi de création de l'Institut Équatorien des Ressources Hydrauliques (INERHI), Décret n° 1551.
- 1972 - Loi sur l'eau, Décret Suprême n° 369
- 1973 - Règlement de la loi sur l'eau, Décret Suprême n° 40
- 1977 - SOGREA-ACTIM, Étude et diagnostic des ressources hydriques de l'Équateur en vue d'élaborer le Plan National des Ressources Hydrauliques
- 1985- INERHI-CEDEX, Plan National des Ressources Hydrauliques (PNRH), Termes de référence de la première phase : planification de l'utilisation de l'eau.
- 1985 - INERHI-CEDEX (PHRH), Termes de référence de la seconde phase : planification des investissements publics en matière d'hydraulique et des organismes de décision nécessaires
- 1985 - INERHI-CEDEX (PNRH), Demande nationale d'actions en matière d'irrigation
- 1985 - INERHI-CEDEX (PNRH), Termes de référence particuliers de la seconde phase : irrigation
- 1979 - CADIER, E., POURRUT P., Inventaire et détermination des données nécessaires à l'utilisation rationnelle des ressources hydriques dans le contexte d'une planification globale des ressources naturelles renouvelables. L'expérience de l'Équateur. ORSTOM
- 1980 - ORSTOM-PRONAREG, L'eau en vue de l'irrigation. Province du Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Azuay, Cañar
- 1979 - ORSTOM-PRONAREG, Éléments fondamentaux pour la planification des ressources hydriques en Équateur.
- 1982 - INERHI, Coopération Belge, Projet El Pisque, Plan quinquennal et annexes correspondantes
- 1979 - ORSTOM-PRONAREG, Diagnostic socio-économique du milieu rural équatorien (plusieurs volumes)
- 1982 - INERHI, Évaluation agricole « ex-post », Projet El Pisque
- 1984 - INERHI-IRYDA, Programme d'aide à la petite irrigation
- 1980 - INERHI-ICID, La sous-utilisation des systèmes d'irrigation en Amérique latine, Première Conférence Régionale de l'ICID en Amérique
- 1984 - INERHI, Points de référence pour le Plan National d'Irrigation jusqu'à l'an 2000
- 1984 - INERHI, Programme de travail dans le domaine de la planification
- 1966 - 1985 INERHI, Monographies et plans. Inventaires de l'utilisation de l'eau (plusieurs volumes)
- 1985 - INAMHI, Séries climatologiques de quelques stations du Cotopaxi. Chimborazo et Bolívar



*Deuxième Partie*

**MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE**

# I - 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 km<sup>2</sup> 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
<b>Total superficie agricole</b>	<b>6 188</b>	<b>22,0</b>	<b>100,0</b>
<b>Forêts et páramos</b>	<b>21 994</b>	<b>78,0</b>	<b>100,0</b>

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<sup>e</sup> et le XX<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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 m<sup>3</sup>/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.

## **II - 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 km<sup>2</sup> 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 par-

fois 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.

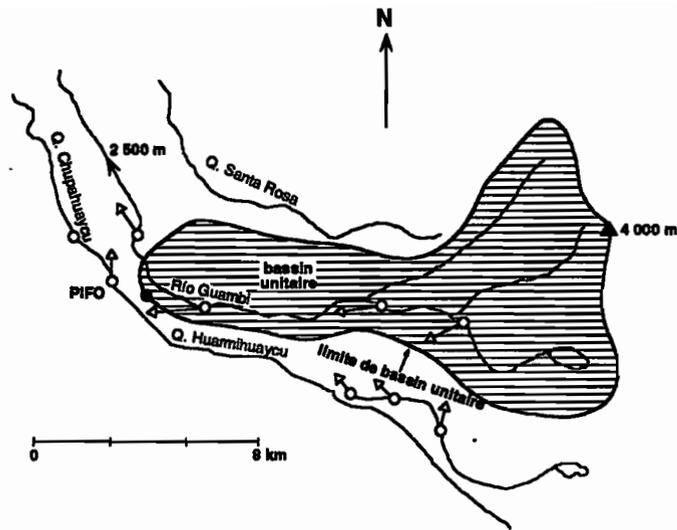
#### **5. LA ZARI (ZONE D'ANALYSE ET DE RECOMMANDATIONS POUR L'IRRIGATION)**

**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.

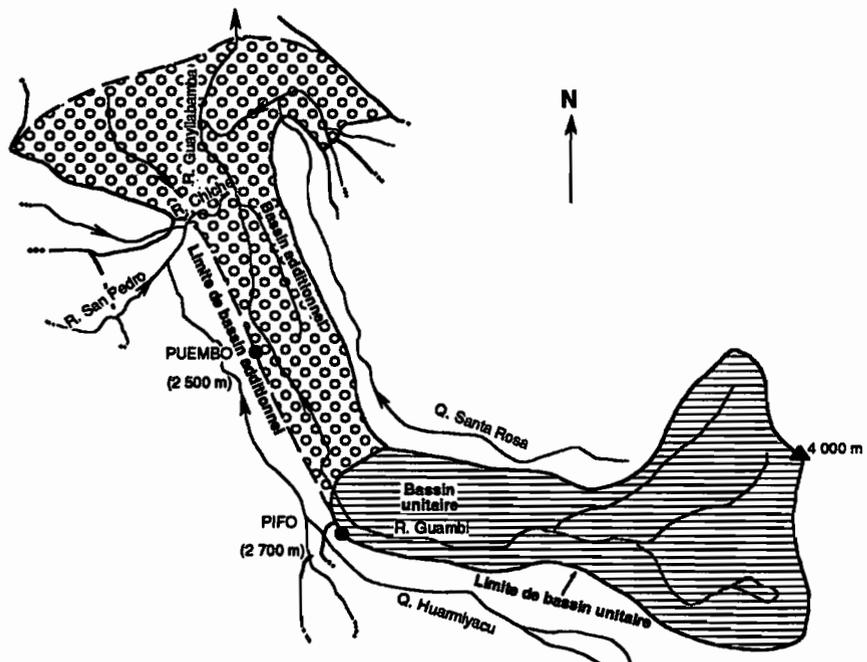
En cas de modélisation d'un grand bassin hydrographique, il constitue l'unité spatiale élémentaire, la maille sur laquelle se calculeront les bilans d'offre et de demande en eau.



**Schéma d'un bassin unitaire type avec emplacement des canaux  
(rio Guambi, 30 km à l'est de Quito)**

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.

En outre, 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.



**Schéma d'un bassin de liaison type (rio Guambi)**

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 avoisinants.

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 :

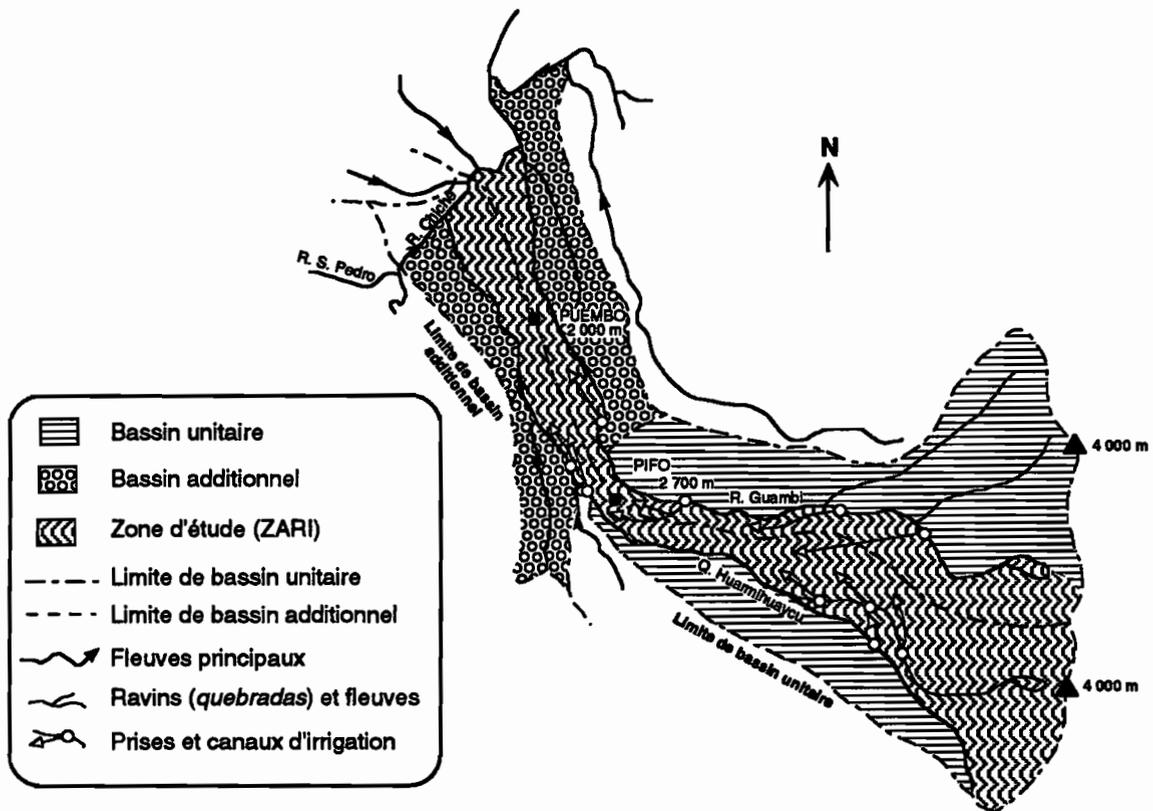
**ZARI : unité spatiale d'organisation du prélèvement, du transport et de l'utilisation de l'eau d'irrigation.**

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.



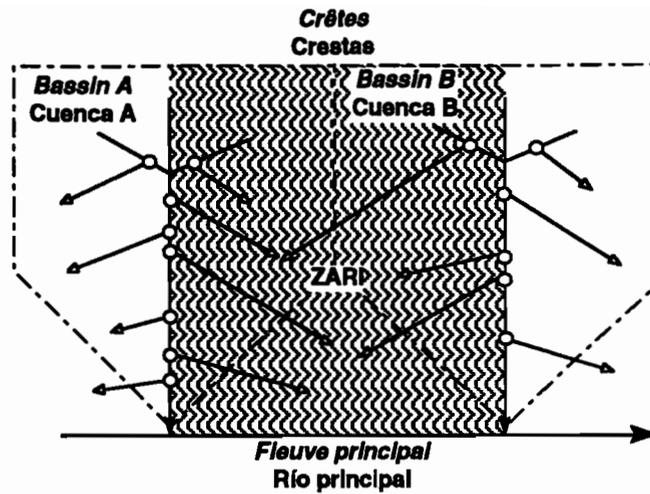
**Schéma d'une ZARI type dans le cas de deux bassins unitaires juxtaposés (ZARI de Puenbo-Pifo)**

## 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, hydro-électrique, 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.



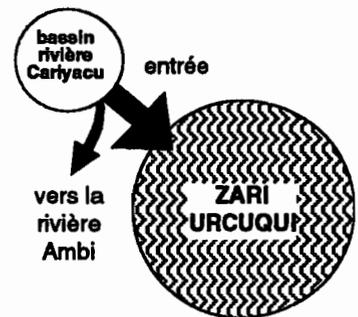
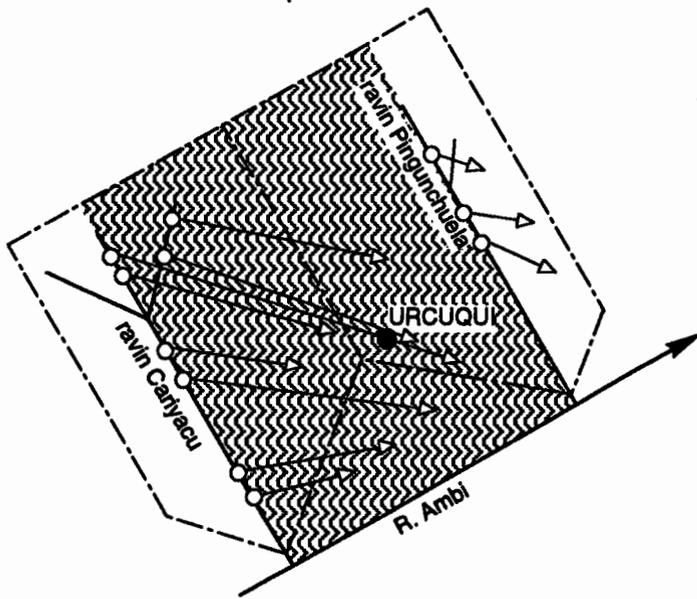
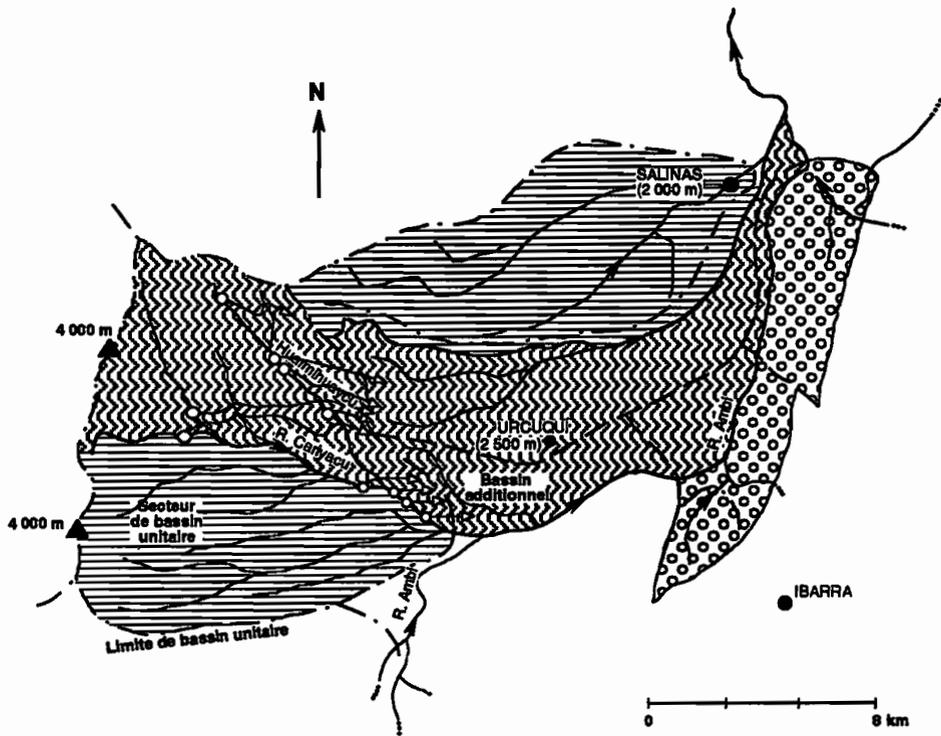
**Schéma théorique des relations entre bassins unitaires et ZARI**

### 5.3. Une application exemplaire : la ZARI d'Urququí

Située dans la province d'Imbabura et faisant partie du bassin hydrographique du río Mira, la ZARI d'Urququí a été choisie comme terrain représentatif.

C'est tout d'abord le bassin unitaire du río Pingunchuela qui avait été retenu, mais ce choix péchait par le fait que les plus gros périmètres s'alimentent 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 à l'aménagement, comme le montre le schéma ci-contre.



**Schéma de la ZARI d'Urcuquí, entre le rio Cariyacu et le ravin Pingunchuela, et les bassins unitaires avoisinants**

## **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.

### III - 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.

## IV - 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).

## **V - 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 —**

- A<sub>1</sub>** Délimitation des zones climatiquement sèches, et leur maillage en unités hydrauliques (bassins versants unitaires)
- A<sub>2</sub>** 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 —**

- B<sub>1</sub>** Délimitation précise des ZARI représentatives, tracé de l'infrastructure, schéma de fonctionnement, choix des périmètres et des parcelles à étudier
- B<sub>2</sub>** Travaux pluridisciplinaires au niveau de la ZARI (ensemble des canaux d'irrigation et des périmètres)
- B<sub>3</sub>** Travaux pluridisciplinaires sur les unités d'usage du sol et les exploitations
- B<sub>4</sub>** Travaux pluridisciplinaires sur les parcelles

## **OPÉRATION C**

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

- C<sub>1</sub>** Localisation et organisation structurelle sur la base de la documentation existante et de données obtenues par photo-interprétation
- C<sub>2</sub>** 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 —**

- D<sub>1</sub>** Caractérisation hydroclimatique préliminaire, analyse des données de base, constitution de fichiers opérationnels
- D<sub>2</sub>** Calcul des demandes théoriques et confrontation avec la réalité
- D<sub>3</sub>** Évaluation de la ressource en eau par modélisation hydro-pluviométrique
- D<sub>4</sub>** 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 —**

- E<sub>1</sub>** Méthodologie du diagnostic sur la répartition de l'eau dans les ZARI, et recherche sur l'amélioration des tours d'eau
- E<sub>2</sub>** Dynamiques agraires autour des aménagements hydro-agricoles (perspectives historiques)
- E<sub>3</sub>** Détermination des productions agricoles actuelles et potentielles dans chaque ZARI
- E<sub>4</sub>** Évaluation *ex-post* d'un projet public d'irrigation, comparaison avec une situation voisine « hors projet »
- E<sub>5</sub>** Établissement de comptes macro-économiques par ZARI

## **OPÉRATION F**

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

Détermination du comportement hydro-dynamique des sols, mise en relation avec certaines de leurs caractéristiques déjà cartographiées

Elle sera précisée ultérieurement.

## **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

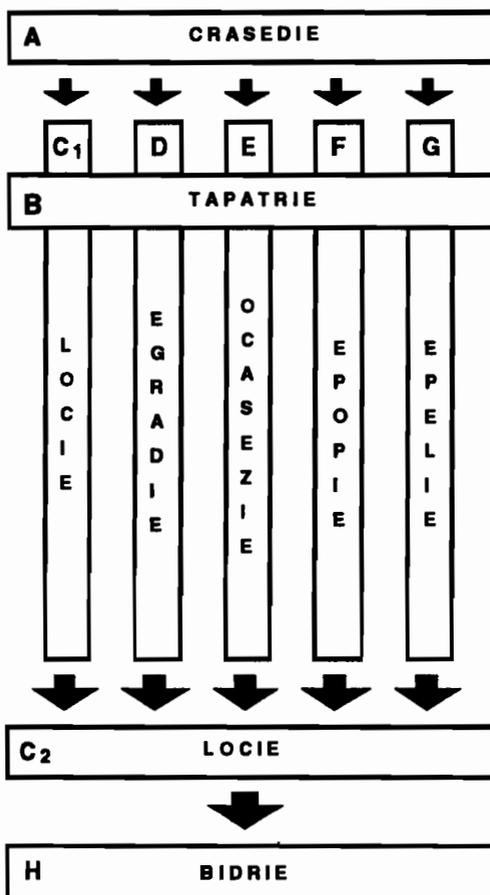
Elle sera menée en collaboration avec l'équipe ORSTOM-MAG qui travaille sur l'érosion depuis déjà un bon nombre d'années.

## **OPÉRATION H**

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

Rassemblement, sous fichier informatique, des données descriptives et analytiques issues des opérations antérieures

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 (C<sub>1</sub>) 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 C<sub>1</sub> 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 (H). Celle-ci devra être conçue pour faciliter les corrections nécessaires et l'échange des informations avec les agences de l'INERHI.



*Troisième Partie*

**DÉTAIL DES OPÉRATIONS**

**Opération A**

**CRASEDIE**

## Opération A

### Choix Raisoné des Aires Significatives pour l'Étude des Dysfonctionnements de l'Irrigation Équatorienne

— C R A S E D I E —

Elle est l'étape préliminaire de tout travail postérieur puisque, selon son titre, elle doit circonscrire les aires de travail (régions déjà irriguées et potentiellement irrigables) et choisir les terrains d'étude.

Elle est donc divisée en 2 parties :

- Pour ses calculs de disponibilité en eau, l'hydrologue doit enfermer les zones irriguées (ou en passe de l'être) à l'intérieur d'un bassin hydrographique, arrêté par une station hydrométrique de bonne facture. Ce sera l'objectif de cette composante.
- Les autres disciplines travaillent sur des unités spatiales bien différentes : les ZARI. Leur nombre ne permettant pas une étude approfondie de chacune d'elles, il est donc nécessaire d'en bien choisir quelques-unes où se feront des travaux de terrain détaillés : les ZARI représentatives. Ce sera l'objet du deuxième volet.

#### A<sub>1</sub> - ZONES DE TRAVAIL ET MAILLAGE HYDROLOGIQUE

##### 1. Objectifs

Cette première composante de l'opération A doit, en premier lieu, circonscrire les zones d'intervention du Plan National d'Irrigation, c'est-à-dire essentiellement les régions déjà irriguées et celles potentiellement irrigables en raison de leur déficit pluviométrique.

On recherchera ensuite la première station hydrométrique dont les mesures soient fiables, en aval des parties irriguées. Le bassin versant correspondant constituera le cadre général sur lequel s'effectueront les bilans entre offre et demande en eau.

Il sera ensuite découpé en mailles élémentaires tissant un canevas hydrologique sur lequel se réaliseront les calculs.

Elles seront constituées par les bassins unitaires définis par ORSTOM-PRONAREG et par des bassins additionnels qui les relieront entre eux.

Cela permettra de mieux cerner les zones d'étude intéressantes tant du point de vue hydrologique que du point de vue agro-socio-économique.

##### 2. Travaux antérieurs et justification

Les études d'ORSTOM-PRONAREG constitueront les bases de départ que nous devons compléter et associer pour arriver aux objectifs fixés.

Le département de géographie du PRONAREG a localisé, sur des cartes au 1/50 000, les unités d'usage du sol de la *Sierra* comportant des périmètres irrigués : ces données ont été ensuite complétées pour la *Costa* par la Direction de la Planification de l'INERHI, dans le cadre de sa convention avec le CEDEX.

Le département d'hydrologie du PRONAREG a, quant à lui, publié des cartes du déficit hydrique moyen annuel et du nombre de mois secs ; il a, de plus, délimité un certain nombre de bassins

versants unitaires (plus de 1 500) dans lesquels les facteurs conditionnant l'écoulement sont homogènes. Il a, enfin, regroupé ces différentes informations pour fournir des éléments de base à la planification de l'irrigation en Équateur.

Le projet INERHI-CEDEX a utilisé les données antérieures et les a rassemblées par grands bassins hydrographiques, dans le but d'évaluer les ressources hydriques disponibles.

Les travaux antérieurs forment donc une base sérieuse de départ, mais ils restent cependant incomplets dans l'optique du Plan National d'Irrigation : l'évaluation des ressources hydriques par modélisation mathématique n'a pas donné les résultats escomptés et le découpage en bassins unitaires est incomplet.

Le premier travail sera donc de pallier ces insuffisances.

### **3. Résumé méthodologique**

Sur les cartes oro-hydrographiques au 1/200 000 de chaque grand bassin, on localisera toutes les stations hydrométriques répertoriées dans les listes de l'INAMHI.

On y reportera les bassins unitaires définis par ORSTOM-PRONAREG, les unités d'usage du sol avec irrigation et les limites des régions potentiellement irrigables d'un point de vue climatique.

On procédera alors à un premier diagnostic sur le réseau hydrométrique, en distinguant les stations de bonne qualité (lit de la rivière stable, longueur des séries, nombre de jaugeages...) : ce premier jugement sera fondé sur les considérations émises par ORSTOM-PRONAREG et la Direction de l'Administration de l'Eau de l'INERHI. On recherchera ensuite la première station hydrométrique de bonne qualité qui soit en aval des secteurs irrigués et potentiellement irrigables : le bassin versant correspondant servira de cadre à l'évaluation des ressources hydriques, et les données de la station permettront un ajustement correct du modèle hydro-pluviométrique.

Enfin, il conviendra de compléter le maillage du bassin choisi ; pour cela, on délimitera des bassins versants additionnels qui respectent le sens du drainage, sans couper des périmètres irrigués ou de grands secteurs potentiellement irrigables, et qui coïncident, dans la mesure du possible, avec une station hydrométrique intermédiaire.

On obtiendra donc un découpage de l'espace satisfaisant du point de vue hydrologique, et on le représentera sous forme d'un schéma de fonctionnement hydraulique.

L'étude s'attaquera d'abord à la partie andine (Mira, Esmeraldas, Pastaza...) et sera étendue ultérieurement à la *Costa*.

### **4. Produits attendus**

Un choix de bassins versants correspondant à des stations hydrométriques de bonne qualité, contenant les secteurs irrigués et potentiellement irrigables, et découpés en espaces élémentaires : les bassins unitaires et additionnels.

### **5. Durée de l'opération**

Un ou deux mois seront suffisants pour réaliser ce découpage de l'espace qui s'effectuera au fur et à mesure des besoins.

## 6. Personnel

**ORSTOM**  
P. LE GOULVEN

**INERHI**  
W. CARRERA  
A. SEGOVIA

## 7. Formation et valorisation

### *Formation*

Conception de schémas hydrauliques de fonctionnement servant de base aux modèles hydro-pluviométriques à discrétisation spatiale.

### *Publication*

Rapport sur le maillage hydrologique des secteurs irrigués et potentiellement irrigables.

## 8. Collaborations externes

- INAMHI
- INERHI, Direction de l'Administration de l'Eau

## 9. Principaux documents de base

- Études hydro-météorologiques et hydro-géologiques préliminaires (MAG-ORSTOM) ;
- Études sur les éléments de base pour la planification de l'irrigation en Équateur (MAG-ORSTOM) ;
- Évaluation des besoins en eau pour l'irrigation par grands bassins hydrographiques (INERHI-CEDEX) ;
- Étude régionale intégrée de l'Altiplano Cundiboyacense - La Savane de Bogotá (ORSTOM-IGAC).

## A<sub>2</sub> - SÉLECTION DES ZARI REPRÉSENTATIVES

### 1. Objectifs

Cette composante est avant tout « technique ». Elle correspond à la nécessité de travailler en profondeur sur des zones précises du pays, dans la mesure où les problèmes de l'irrigation privée sont très peu connus. Il faut donc choisir ces zones de telle manière que les principales situations climatiques et agraires soient représentées.

Faute d'information générale disponible sur les réseaux d'irrigation existants, le choix des ZARI représentatives ne peut s'opérer directement.

On regroupera, d'abord, les zones agricoles irriguées sur la base des résultats publiés par ORSTOM-PRONAREG (zones agricoles pour la programmation intégrée), et on cherchera, ensuite, une ZARI représentative de chaque groupe.

### 2. Antécédents, justifications

Parmi les documents disponibles pour repérer les grandes zones irriguées, on trouve les cartes d'usage du sol d'ORSTOM-PRONAREG pour la Sierra, avec l'annexe thématique au 1/200 000 sur l'importance de l'irrigation, permettant de localiser les régions les plus concernées.

Un premier travail de caractérisation de petites régions naturelles a été réalisé en 1979, également par ORSTOM-PRONAREG : il s'agit d'une délimitation de « zones agricoles pour la programmation intégrée ».

### 3. Résumé méthodologique

Compte tenu de ces travaux, on peut concevoir un processus de sélection en plusieurs étapes :

- effectuer une première sélection des zones agricoles définies par ORSTOM-PRONAREG en ne retenant que celles contenant des périmètres irrigués ;
- réaliser un choix de leurs paramètres descriptifs en gardant seulement ceux ayant trait au climat, à la pression démographique, à la taille des propriétés, aux principales productions et au chargement animal ;
- traiter ces données par un programme d'analyse factorielle des correspondances, en dressant l'arbre de classification hiérarchique qui permettra de les regrouper par affinités, et revenir aux données de base pour individualiser chaque groupe ;
- élire une zone agricole représentative de chaque groupe et vérifier que l'ensemble des zones retenues témoignent de la diversité des climats (nombre de mois secs) et des calendriers agricoles (présence de cycles de contre-saison) ;
- circonscrire les ZARI à l'intérieur de chaque zone agricole représentative ; en décrire le contenu biophysique selon l'information cartographique existante au 1/200 000 ; compléter cette description par les données socio-économiques facilement accessibles ; choisir, enfin, la ZARI la plus adaptée qui fera l'objet d'études de terrain détaillées (opération B) ;

Les deux dernières étapes seront à la charge d'une commission formée par les ingénieurs et chercheurs de l'équipe ORSTOM-INNERHI.

### 4. Personnel

Toute l'équipe des ingénieurs et chercheurs ORSTOM-INNERHI.

### 5. Durée de l'opération

Étalée dans le temps au fur et à mesure des possibilités d'ouvrir de nouveaux terrains d'étude. On estime à 15 le minimum de ZARI à étudier dans la *Sierra* et la *Costa*.

### 6. Produits attendus

- la sélection des ZARI représentatives servant de terrains d'étude ;
- plusieurs rapports internes justifiant ces choix.

### 7. Contacts extérieurs

Présentation et discussion des choix avec d'autres chercheurs français et équatoriens connaissant bien le pays.

## 8. Bibliographie

- CRUZ, L.C., 1983. *El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador*, Quito, 205 p.
- FAUROUX, E. ; RAMOS, M., 1977. *Diagnóstico socio-económico del medio rural. Zonas socio-económicas homogéneas de la Sierra*, MAG, Quito, 1979.
- PORTAIS, M. ; ALARCÓN, D.V., 1979. *Delimitación de las zonas agrícolas para la programación integrada: ZAPI*, MAG-ORSTOM, Quito, 391 p.
- SUÁREZ, E. ; BERNARD, A. et al., 1978. *Diagnóstico socio-económico del medio rural ecuatoriano*, Vol. D : Calendario agrícola, PRONAREG, Quito, 528 p.
- ORSTOM-INERHI, mars 1987. *Choix des micro-bassins d'étude dans la Sierra. Première partie : choix des zones agricoles et vérification de la représentativité*, document provisoire, ORSTOM-INERHI, Quito.



**Opération B**

**TAPATRIE**

## Opération B

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

— T A P A T R I E —

#### 1. Objectifs

Cette opération vise à alimenter les réflexions et travaux thématiques menés dans les opérations C, D, E, F et G : il ne s'agit pas d'accumuler des monographies sur les ZARI choisies, mais d'en diagnostiquer les dysfonctionnements, d'en déceler les origines et les symptômes, pour, ensuite, caractériser systématiquement les zones irriguées du pays.

Cette investigation sur des cas réels permettra de dépasser la seule description et d'évaluer tous les paramètres, favorables comme défavorables, à la valorisation agricole de l'eau : le climat, l'infrastructure, le consensus social pour gérer équitablement la ressource eau, l'histoire socio-économique et agricole, la géomorphologie, le comportement hydrique des sols, les conditions de re-production de l'écosystème cultivé et artificialisé par l'aménagement hydro-agricole.

En vue d'organiser ces travaux pluridisciplinaires tout en énonçant des diagnostics les plus complets possibles, nous avons divisé cette opération non par disciplines mais par échelles de travail.

B<sub>1</sub> - étude préliminaire de la ZARI

B<sub>2</sub> - travaux à l'échelle de la ZARI (ensemble *acequias*-périmètres)

B<sub>3</sub> - travaux à l'échelle des périmètres (ensemble exploitations-périmètres)

B<sub>4</sub> - travaux à l'échelle d'exploitations (ensemble parcelles-exploitations)

#### 2. Travaux antérieurs, justifications

Il n'existe pratiquement pas de publications sur le fonctionnement actuel et même passé de l'irrigation privée en Équateur.

Certes, on trouve une description parfois bien précise des canaux d'irrigation, effectuée par les agences régionales de l'INERHI dans le cadre des demandes de concessions obligatoires depuis 1972 (Loi sur l'eau).

Mais on dispose rarement de précisions sur la répartition de l'eau entre différentes *acequias*, ses dérèglements à l'intérieur des périmètres, les faiblesses des infrastructures, les pertes, etc., et l'on n'est pas mieux informé des systèmes de production en place ni de leurs performances.

Peu de chercheurs ont choisi de centrer leur études sur l'irrigation, préférant d'autres points comme le foncier, les rapports de travail, la micro-économie, etc.

Citons néanmoins quelques études assez poussées : *Pimampiro* de P. A. MOTHE (1986), les travaux menés par le CESA (notamment sur la vallée du Chota), l'étude du bassin du rio Ambato réalisée en 1975 sous l'égide de la FAO, les documents publiés par le CATER sur le rio Catamayo en 1982.

Il existe également dans les dossiers des agences de l'INERHI des détails intéressants, surtout lorsque la concession a fait l'objet de conflits et d'arbitrages interminables. On peut trouver dans

quelques cas des jugements critiques sur les dotations actuelles de certains propriétaires, isolés ou regroupés.

Mais les nouveaux projets d'irrigation ignorent les systèmes préexistants ou considèrent qu'ils disparaîtront avec l'aménagement moderne : il importe cependant de les étudier — et nous allons pallier cette lacune — car, dans bien des cas, le réseau public vient simplement se superposer aux réseaux privés plus anciens.

### **3. Résumé méthodologique**

On formulera le diagnostic pluridisciplinaire à partir des quatre sous-opérations signalées antérieurement.

#### **B<sub>1</sub> - ÉTUDE PRÉLIMINAIRE, REPÉRAGE ET PRÉ-DIAGNOSTIC SUR LA ZARI**

Il s'agira d'abord de préparer la visite initiale de terrain, effectuant une délimitation précise de la ZARI grâce aux documents existants (cartes et inventaires).

Sur place, on s'informera auprès des personnes « autorisées » du trajet des canaux, de la situation des prises et des périmètres.

On effectuera une reconnaissance systématique, soit en suivant les canaux, soit en opérant par transects successifs croisant les différents canaux. On établira une première carte de situation (au 1/25 000), que l'on vérifiera en analysant les éventuelles photos aériennes de la zone (anciennes et récentes).

Un entretien avec le groupe de « notables » de la zone permettra d'établir un contact, de formuler quelques hypothèses sur le fonctionnement de l'irrigation et de l'agriculture, d'annoncer notre projet d'étude pour une longue période, de demander une ou deux parcelles « témoins » (que nous suivrons pendant un an), et de leur faire recruter un observateur.

On retiendra un périmètre, considéré comme le plus significatif, pour analyser les problèmes de gestion de l'eau, et on procédera au suivi du canal correspondant, en vue d'apprécier les ouvrages de prise et de régulation, l'importance des phénomènes d'infiltration, les diverses faiblesses des berges, etc.

Après cette première tournée, et au fur et à mesure des travaux, on rangera l'information qualitative dans un dossier auquel on annexera les copies de documents concernant la zone (comme les mémoires techniques des agences de l'INERHI. Après chaque sortie, on écrira la synthèse des observations faites sur les différents périmètres, selon le plan suivant :

1. Situation du périmètre dans la zone
2. Population et histoire de la population
3. État actuel de l'infrastructure
4. Histoire de l'infrastructure
5. Fonctionnement actuel de l'irrigation
6. Économie de l'eau
7. Agriculture, problèmes agronomiques
8. Économie agricole
9. Potentiels, conditions limitatives
10. Événements notables
11. Synthèse

## **B<sub>2</sub> - TRAVAUX PLURIDISCIPLINAIRES À L'ÉCHELLE DE LA ZARI ENTIÈRE** (ensemble des *acequias* et périmètres)

Il s'agit de caractériser et de juger la répartition des ressources en eau dans la ZARI, de détecter les pertes éventuelles, et d'en mesurer l'importance. On procédera donc à cinq types d'études complémentaires :

- enquête agro-sociologique sur l'eau et sa répartition à partir d'un échantillon stratifié et raisonné dans chaque périmètre (partie terrain de la sous-opération E<sub>1</sub>) ; on recherchera les exploitants correspondant à un échantillon raisonné de parcelles distribuées dans les différents périmètres ; on les soumettra à un questionnaire permettant de saisir le fonctionnement général du périmètre de l'enquête, d'appréhender les problèmes de gestion de l'eau dans la parcelle choisie et d'identifier l'exploitation de l'enquêté ; ces données permettront de caractériser le fonctionnement de chaque périmètre de la ZARI, puis de les comparer entre eux ; en outre, le questionnaire comportera des parties ouvertes où les enquêtés pourront s'exprimer sur tel ou tel problème d'irrigation, ce qui permettra de compléter la liste des divers « dysfonctionnements » à prendre en compte (en vue de l'opération C, 2<sup>e</sup> phase, inventaire) ; cette enquête aura lieu en pleine saison sèche, et de préférence au moment où le manque d'eau apparaît au niveau de la parcelle de référence (voir B<sub>4</sub>) ;
- jaugeages à la prise des canaux et à l'entrée des périmètres pour vérifier les déclarations d'enquêtes sur la répartition de l'eau et repérer les anomalies ;
- évaluation de la dose d'irrigation optimale en fonction des caractéristiques des sols de chaque périmètre ; on effectuera dans chaque périmètre une ou plusieurs analyses physiques des sols (densité apparente, profondeur, capacité au champ, point de flétrissement permanent) pour calculer cette dose : on la confrontera ensuite aux données de l'enquête afin d'apprécier les failles de l'irrigation pratiquée (sur-irrigation, mauvaise période de tour d'eau...) ;
- estimation des pertes en eau par infiltration ou mauvais état de l'infrastructure, par mesures de débit ponctuelles et simultanées sur un échantillon de canaux ;
- estimation de l'offre et de la demande et des concurrences amont-aval (partie terrain de la sous-opération D<sub>2</sub>).

## **B<sub>3</sub> - TRAVAUX PLURIDISCIPLINAIRES À L'ÉCHELLE DES UNITÉS D'USAGE DU SOL ET DES EXPLOITATIONS**

Il s'agit d'estimer la productivité agricole des différentes unités d'usage du sol, par une enquête agro-socio-économique sur un échantillon d'exploitations représentatives (préambule de la sous-opération E<sub>3</sub>).

On préférera la qualité de l'information à la multiplication d'enquêtes qui ne permettraient guère d'estimer ni d'expliquer les résultats de production.

L'investigation portera à la fois sur l'histoire récente et les structures actuelles des exploitations, le fonctionnement agricole (assolements, rotations, calendriers, contraintes du système d'exploitation) et les résultats physiques et économiques.

Au contraire de l'enquête agro-sociologique sur la gestion de l'eau présentée précédemment, ce travail peut s'effectuer hors saison d'irrigation, avec plusieurs passages de l'enquêteur.

## **B<sub>4</sub> - TRAVAUX PLURIDISCIPLINAIRES À L'ÉCHELLE DE PARCELLES DE BASE**

À cette échelle, on recherchera un minimum de références sur le fonctionnement de l'irrigation : consommation en eau, techniques employées et leur efficacité, problèmes agronomiques, économie de l'eau.

En outre, la parcelle de référence, justement choisie dans le souci de dénoncer un éventuel manque d'eau, témoignera de la difficile répartition de la ressource.

### **4. Principaux produits attendus**

On tirera de ces travaux pluridisciplinaires un inventaire de tous les problèmes de fonctionnement, accompagné des indicateurs correspondants.

Par ailleurs, des rapports de synthèse sont prévus sur chaque ZARI ; ils pourront être présentés en séance publique dans la zone étudiée et serviront éventuellement à la création d'un projet de rénovation de l'irrigation locale.

### **5. Durée de l'opération**

Les opérations de terrain se dérouleront tout au long du projet de recherche, chaque ZARI représentative étant étudiée normalement pendant une année complète.

### **6. Personnel**

Toute l'équipe du projet travaillera dans les diverses sous-opérations prévues.

### **7. Principaux contacts**

Des contacts auront lieu avec les institutions locales (agences et districts de l'INERHI, organisations de développement, juntas des paroisses, juntas de l'eau...).

D'autres seront pris pour résoudre tel ou tel problème sur le terrain (notamment avec des chercheurs de l'ORSTOM et d'institutions équatoriennes, comme l'INIAP en agronomie).

### **8. Bibliographie**

Les principaux documents disponibles ont été répertoriés dans les listes bibliographiques des opérations thématiques C<sub>1</sub>, D, E, F et G.

**Opération C**

**LOCIE**

## Opération C

### Localisation, Organisation et Caractérisation de l'Irrigation Équatorienne

— L O C I E —

#### OBJECTIFS

L'objectif principal de cette opération est de caractériser le fonctionnement de l'irrigation privée ; on se propose, à partir d'indicateurs pertinents, d'estimer les différences existant entre productivités actuelles (PAA) et potentielles (PAP), d'en expliquer les causes et de présenter des solutions. Les données seront rassemblées dans une banque informatisée à partir de laquelle il sera facile de construire la matrice de caractérisation définie dans la méthodologie générale.

Les nombreux indicateurs figurant dans la littérature internationale ne sont pas adaptés au milieu équatorien ; les travaux de terrain (opération B) devront en déterminer les plus significatifs. Ceci implique la division de l'opération en deux phases successives :

- Sur la cartographie au 1/50 000, on procédera à la localisation des périmètres aménagés et au tracé des *acequias* correspondantes, par synthèse de l'information existante. Ce premier travail permettra de délimiter correctement les zones d'analyse définies dans la méthodologie générale (ZARI). La délimitation des périmètres se fera d'abord par photo-interprétation en collaboration avec PRONAREG, puis si possible par analyse des images du satellite SPOT.
- La caractérisation ne commencera réellement qu'une fois les études de terrain bien avancées. Les données manquantes pour calculer les indicateurs seront complétées par un inventaire physique, et stockées dans la banque de données qui devra être définitivement élaborée. On procédera alors au calcul des indicateurs.

Le travail, d'envergure nationale, se fera par grands bassins hydrographiques en commençant par le couloir interandin (Mira, Esmeraldas, etc.).

#### C<sub>1</sub> - LOCALISATION ET ORGANISATION STRUCTURELLE

##### 1. Travaux antérieurs et justification

ORSTOM-PRONAREG a élaboré au niveau national une cartographie de l'usage actuel du sol et des formations végétales. Dans la *Sierra*, le travail s'est effectué au 1/50 000 par photo-interprétation et vérifications de terrain et prend en compte l'irrigation. Selon le Département de Géographie (auteur de cette partie), l'irrigation transforme littéralement le paysage et les cultures se différencient selon qu'il existe ou non la possibilité d'irriguer, indépendamment de la structure agraire et de la nature du sol. En cartographie, seules deux classes ont été considérées selon que la superficie irriguée était supérieure ou inférieure à 50 % de la superficie totale de l'unité d'usage du sol analysée. L'irrigation a été localisée par l'organisation des parcelles et la tonalité. Les vérifications de terrain ont apporté des indications intéressantes principalement sur les zones peu irriguées.

Les photographies utilisées sont de 1963 et les travaux de terrain, s'étalant de 1976 à 1982, ont permis de vérifier que la localisation de l'irrigation privée avait peu évolué durant ce laps de temps. Sur la côte, le travail a été réalisé au 1/200 000 et malheureusement, l'irrigation n'est pas prise en compte.

De son côté, l'INERHI dispose d'un grand nombre de documents éparpillés dans divers services centraux et agences régionales. L'article 98 de la Loi sur l'eau oblige tous les usagers à s'inscrire à l'INERHI en indiquant les caractéristiques principales de l'infrastructure existante ou prévue et la destination de l'eau prélevée. L'Institut autorise alors l'usager à détourner un certain débit. Ces

concessions sont enregistrées dans chaque agence, mais beaucoup de gens utilisent l'eau sans le déclarer. En plus, un certain nombre d'inventaires ont été réalisés (parfois sur la même zone) avec une bonne description de l'infrastructure mais sont de valeur très inégale et de dates bien différentes (1966 à 1985) et leurs résultats, souvent divergents, ne concordent pas non plus avec la réalité.

Enfin, il faut citer quelques études complètes mais très ponctuelles, subventionnées généralement par des organisations internationales.

En résumé, ORSTOM-PRONAREG s'est intéressé exclusivement aux périmètres, les a localisés approximativement, en a évalué l'importance et a caractérisé leur environnement.

La délimitation précise des périmètres n'a pas été faite mais PRONAREG possède toujours les documents de base (photographies aériennes semi-interprétées, fiches de terrain...) pour aller plus loin.

Pour sa part, l'INERHI, s'étant surtout intéressé à l'infrastructure (prises et canaux d'amenée), possède un grand nombre de documents sur le sujet : si leurs résultats divergent quelque peu, on devrait quand même pouvoir en faire une synthèse avec l'aide des agences régionales.

Une confrontation des deux sources (INERHI et PRONAREG) donnera une vision complète des systèmes irrigués, et plus conforme à la réalité.

Il ne faut pas cacher l'ampleur de la tâche, ni ignorer que cette opération est la colonne vertébrale du projet ; par conséquent, de son succès dépend celui du Plan National d'Irrigation.

## **2. Résumé méthodologique**

Après avoir rassemblé l'information provenant de l'INERHI au niveau du bassin hydrographique (agences et bureau central), et l'avoir reportée sur cartographie au 1/50 000, on procédera à la délimitation des Zones d'Analyse et de Recommandations pour l'Irrigation (ZARI) en commençant par les terrains représentatifs sélectionnés.

On établira des fiches sur l'infrastructure connue avec certitude (périmètres desservis, type de concession, description de la prise et du canal...). Ces dossiers provisoires seront proposés au PRONAREG pour une délimitation précise des périmètres aménagés, au moyen des photographies aériennes déjà utilisées pour l'étude de l'usage actuel du sol. Les doutes et les incertitudes seront levés par une visite à l'agence concernée ou directement sur le terrain.

Une fois terminé ce travail d'analyse, on complétera les fiches d'infrastructure et on établira alors des fiches de périmètres (description, types de culture, gestion interne, conflits passés ou actuels...).

Le contenu définitif des fiches ainsi que la mise au point des méthodes de travail seront testés sur les terrains représentatifs sélectionnés dans l'opération A.

Le dossier de chaque ZARI comprendra donc des fiches d'infrastructure, des fiches de périmètres, un schéma d'organisation entre *acequias* et périmètres et une fiche de synthèse.

Au niveau du bassin hydrographique, on établira également une fiche pour chaque bassin unitaire défini dans l'opération A : y seront regroupées les différentes prises d'eau, afin de faciliter la mise au point du modèle de gestion des ressources hydriques.

Les dossiers ainsi constitués serviront de point de départ à la phase de caractérisation et seront la base de la banque de données informatisée sur l'irrigation particulière.

Dans le même temps, on procédera à la compilation des études déjà effectuées dans ce domaine par photo-interprétation d'images de satellites. La méthodologie sera mise au point sur la ZARI représentative de Puembo-Pifo qui servira de vérité- sol. Elle sera ensuite éprouvée sur les autres terrains représentatifs sélectionnés. Une fois ce travail terminé, on passera à la photo-interprétation systématique en collaboration avec le CLIRSEN.

### 3. Produits attendus

Pour chaque ZARI :

- la carte au 1/50 000 des *acequias* et des périmètres ;
- une fiche de description de chaque *acequia* ;
- une fiche de description de chaque périmètre ;
- un schéma d'organisation entre *acequias* et périmètres ;
- une fiche de synthèse.

Pour le bassin hydrographique, une fiche de chaque bassin unitaire comprenant le réseau hydrographique et la localisation des prises et des rejets.

### 4. Durée de l'opération

Elle est très difficile à déterminer vu la complexité du problème. L'information s'est révélée à première vue très décevante et sans rapport avec la réalité. En fait, sa qualité variera selon les agences.

D'un autre côté, on peut espérer que les nouveaux inventaires prévus sur le Guayllabamba nous seront d'une grande utilité.

On estimera donc la durée des travaux entre 1 an et 18 mois.

### 5. Personnel

ORSTOM  
P. LE GOULVEN  
T. RUF

INERHI  
W. CARRERA  
E. GUERRA  
M. HERMOSA  
M. PROAÑO  
M. ROJAS (à partir de juin)

PRONAREG  
photo-interprètes

### 6. Formation et valorisation

- Formation à la critique des documents et à leur analyse
- Formation à la photo-interprétation
- Organisation d'un travail systématique d'inventaire
- Schématisation d'un problème réel extrêmement complexe
- Structuration d'une banque de données

## 7. Collaborations externes

### *permanentes*

- INERHI (Direction de l'Administration de l'Eau, agences régionales)
- PRONAREG (équipe de photo-interprétation)
- Corporations régionales de développement (CRM, PREDESUR, CREA, CEDEGE)

### *éventuelles*

- CLIRSEN et bureau de télédétection de l'ORSTOM en cas d'utilisation du satellite SPOT

## 8. Documentation de base

- cartographie au 1/50 000 de l'usage du sol et des formations végétales de la *Sierra*, ORSTOM-PRONAREG ;
- cartographie au 1/200 000 des formations végétales et de l'usage du sol de la *Costa*, ORSTOM-PRONAREG ;
- Inventaire des réseaux d'irrigation, INERHI (diverses Directions) ;
- Mémoires techniques sur les canaux et les concessions d'irrigation, agences régionales de l'INERHI ;
- ANDERSON et DAINES, 1977. *Enquêtes sur la distribution de l'eau d'irrigation au niveau de l'usager* ;
- VANZIJJ, J., 1977. *L'agriculture dans six communautés de la vallée du Chota*, CESA ;
- KNAPP, G., 1985. *Étude des acequias de la zone du Chota*.

## C<sub>2</sub>- CARACTÉRISATION FONCTIONNELLE

### 1. Travaux antérieurs, justification, résumé méthodologique

Améliorer l'irrigation, c'est d'abord la connaître. La phase antérieure permettra de visualiser son aspect extérieur. Il faut maintenant dépasser ce stade descriptif pour évaluer et mesurer son fonctionnement. C'est l'objet de cette deuxième partie.

Il n'existe pas encore d'études de ce type en Équateur. Les quelques documents cités antérieurement (première phase) ont largement mis l'accent sur la phase de description. Il est possible que la complexité du problème ait rebuté bon nombre de personnes.

En effet, l'irrigation particulière, notamment dans la *Sierra*, ne répond pas souvent aux normes couramment admises et de ce fait, les indicateurs généralement cités dans la littérature n'ont parfois aucune signification.

Les études de terrain (opération B) devront donc fournir les indicateurs représentatifs des fonctionnements hydraulique, agricole et socio-économique, et permettre un diagnostic de situation qui souligne les problèmes dominants.

Certains indicateurs seront calculables à partir des paramètres descriptifs de la première phase, mais d'autres seront appréhendés directement. À ce niveau, on devra choisir entre 2 méthodes de travail :

- en cas de financement extérieur, on procéderait à un inventaire physique qui permettrait de compléter les paramètres descriptifs manquants et de relever tous les indicateurs de fonctionnement ; un tel inventaire serait donné à des équipes contractuelles qui partiraient sur des périmètres déjà localisés et avec des objectifs très précis ;

- sans financement, l'inventaire ne pourrait être mené que sur quelques bassins hydrographiques par le personnel de l'INERHI ; pour le reste du pays, on effectuerait un transfert des résultats acquis sur les terrains représentatifs vers les ZARI aux structures comparables (appartenance à un même groupe).

Il va sans dire que la deuxième solution entraînerait une perte importante de précision dans le diagnostic.

Quelle que soit la solution choisie, la qualité de la caractérisation dépendra beaucoup du sérieux avec lequel aura été menée la phase de description.



**Opération D**

**EGRADIE**

## **Opération D**

### **L'Eau et sa Gestion Rationnelle : une Aide au Développement de l'Irrigation Équatorienne — E G R A D I E —**

La gestion rationnelle de l'eau est nécessaire pour satisfaire des besoins toujours plus pressants et résoudre les conflits entre les différents utilisateurs.

On abordera cette gestion par grand bassin hydrographique, en calculant la ressource disponible en divers points, mois par mois et année par année.

Pour cela, on considérera les 2 aspects fondamentaux habituels que sont l'offre et la demande en eau.

L'offre sera évaluée en adaptant un modèle de transformation pluie-débit, discrétisé spatialement sur les bassins versants unitaires et additionnels définis dans l'opération A.

La demande, elle, s'étudiera sur la base des ZARI, en tenant compte des besoins climatiques, des caractéristiques de l'infrastructure et des systèmes de culture ; on s'appuiera donc sur les études de terrain menées conjointement avec les autres disciplines (opération B) et sur l'inventaire prévu dans l'opération C.

Cependant, l'inventaire des ressources et leur gestion sont étroitement subordonnés à une bonne connaissance des éléments du climat. C'est donc par cet aspect que le travail commencera.

L'opération sera divisée en 4 composantes principales :

D<sub>1</sub> - Caractérisation hydro-climatique préliminaire

D<sub>2</sub> - Évaluation des besoins

D<sub>3</sub> - Évaluation de la ressource en eau

D<sub>4</sub> - Confrontation des ressources avec les besoins

Il faut souligner l'intérêt qu'a suscité cette opération auprès d'autres instituts (INAMHI, École Polytechnique Nationale — EPN —), ou d'autres directions de l'INERHI (Administration de l'Eau). Un accord est déjà établi pour répartir le travail, toujours pesant, de collecte et traitement de l'information de base, et cette collaboration devrait continuer jusqu'à la phase de synthèse, surtout dans les composantes D<sub>1</sub> et D<sub>3</sub>.

#### **D<sub>1</sub> - CARACTÉRISATION HYDRO-CLIMATIQUE PRÉLIMINAIRE**

##### **I - PLUVIOMÉTRIE**

###### **1. Travaux antérieurs et justification**

Au niveau national, deux études méritent d'être mentionnées :

- L'analyse pluviométrique effectuée par ORSTOM-PRONAREG dans le cadre de l'inventaire des ressources en eau.

Les stations ont toutes été inspectées, leurs caractéristiques physiques définies et des critères de qualité établis. Une période de référence de 10 ans a été choisie (1964 - 1973). Le

manque de moyens de calcul n'a malheureusement pas permis un traitement complet de l'information et l'étude commence à dater.

Néanmoins, elle doit être une base d'appui privilégiée, étant donné le sérieux avec lequel les analyses ont été menées.

- L'étude des pluies mensuelles et annuelles (jusqu'à 1978), réalisée par l'Institut National de l'Électrification (INECEL), dans le cadre de son plan d'électrification.

Il est regrettable que les résultats publiés ne fassent aucune mention d'une quelconque vérification des données. Vu par ailleurs le caractère spécifique des objectifs poursuivis, l'analyse a surtout porté sur les régions à forte pluviosité qui ne nous intéressent guère.

Les résultats ont été utilisés par l'INERHI (Plan National des Ressources Hydriques) et ont abouti au tracé d'isohyètes interannuelles dont on tiendra compte.

Il convient également de souligner deux études régionales réalisées par l'INAMHI dans le nord et le sud du couloir interandin, dans lesquelles le traitement de l'information par simples et doubles masses a été abordé.

Malgré cela, le service national de météorologie (INAMHI) publie encore des précipitations annuelles supérieures à 35 m : on voit donc que le problème d'homogénéisation reste pendant.

Or l'utilisation d'un modèle hydro-pluviométrique exige une information de qualité. Les études antérieures visaient à calculer des paramètres interannuels figés (moyennes, variances...), mais un modèle de gestion et de planification doit tenir compte de la succession chronologique des événements. Il convient donc de ne pas négliger l'étude pluviométrique proposée.

## **2. Résumé méthodologique**

Après une analyse bibliographique des principaux phénomènes climatiques qui sont à l'origine des précipitations en Équateur, de leur périodicité et de leurs grandes zones d'influence, on procédera à l'homogénéisation des données historiques des stations sélectionnées, par la méthode des simples et doubles masses ou par celle du vecteur régional.

Puis on analysera quantitativement les séries chronologiques retenues, en mettant l'accent sur leurs caractéristiques saisonnières, leur distribution statistique, les effets de tendance rencontrés et l'impact des phénomènes pseudo-cycliques.

On choisira alors une période commune en fonction de la longueur des séries et de la durée de planification escomptée, et on complétera les données manquantes par corrélations inter-postes.

Enfin, on élaborera un zonage précis selon les caractéristiques précédemment calculées et les effets dus au relief (relations pluie-altitude). Il permettra de calculer la pluie moyenne sur chaque bassin et de définir une chronique synthétique des pluies mensuelles conforme aux caractéristiques des stations avoisinantes et en relation avec leurs zones d'influence respectives.

## **3. Produits attendus**

### *Produit principal*

Création, sur chaque bassin unitaire, de chroniques pluviométriques moyennes mensuelles durant une période prédéterminée.

### *Produit annexe*

Création d'une banque de données mensuelles et annuelles (information pluviométrique, programmes de traitement et de gestion).

#### **4. Durée de l'opération**

La durée initialement prévue (15 mois) est maintenue ; cependant, le travail n'ayant réellement débuté que début mars, suite à des problèmes de disponibilité en personnel (transfert d'un autre département), l'opération devrait se terminer fin mai 1988.

#### **5. Personnel**

**ORSTOM**  
P. LE GOULVEN

**INERHI**  
M. ALEMÁN  
R. DÍAZ  
A. SEGOVIA

**EPN**  
INAMHI

#### **6. Formation et valorisation**

##### *Formation*

- Analyse critique et synthèse de données aléatoires ;
- Rédaction de notes méthodologiques sur les techniques employées et élaboration de manuels d'utilisation des programmes informatiques.

##### *Publications*

- Communication ou article sur les « caractéristiques pluviométriques de certaines régions sèches d'Équateur » ;
- Rapport final sur les caractéristiques pluviométriques de l'Équateur.

#### **7. Collaborations externes**

##### *permanentes*

- INAMHI
- ORSTOM-PRONAREG
- INECEL
- Corporations régionales (CEDEGE, CREA, CRM, PREDESUR)
- INERHI, Département du Plan National des Ressources Hydrauliques et Direction des Études

##### *éventuelles*

- Commission Permanente du Pacifique Sud à travers son programme ERFEN (Étude régionale du phénomène du Niño) ;
- Laboratoire Hugo de Vries d'Amsterdam par l'intermédiaire du professeur T. VAN DER HAMMEN ; cette collaboration permettrait d'estimer l'origine et la durée de la tendance à la

sécheresse détectée sur la côte Sud de l'Équateur ; elle ne pourrait avoir lieu que dans le cas d'un financement extérieur.

## 8. Principaux documents à consulter

- Études hydro-météorologiques et hydro-géologiques préliminaires (MAG-ORSTOM) :
  - Pastaza, Chimbo et Chanchán
  - Cañar, Paute et Sud de l'Équateur
  - Esmeraldas et Nord de l'Équateur
  - Guayas, la Péninsule et le Manabí
- POURRUT, P. *Les climats de l'Équateur : fondements explicatifs*, CEDIG-IGM-ORSTOM
- INAMHI, Étude Hydrologique du bassin du rio Mira, non publié officiellement
- Résultats obtenus par le Plan National des Ressources Hydriques dans le cadre de sa collaboration avec le CEDEX
- Bulletins de l'ERFEN, Commission Permanente du Pacifique Sud (Páez 370 y Robles, 6<sup>e</sup> étage, Quito)
- FRÈRE et RIJKS, *Étude agro-climatologique des régions hautes d'Amérique du Sud*, FAO-UNESCO-OMM)
- Étude régionale intégrée de l'Altiplano Cundiboyacense : volume méthodologique et étude générale, ORSTOM-IGAC

## II - CLIMATOLOGIE

### 1. Travaux antérieurs et justification

Au niveau national, on ne peut citer que l'étude ORSTOM-PRONAREG. Si la température a pu être appréhendée dans la plupart des cas, les autres paramètres ont été très peu répertoriés, par manque de données.

Douze ans après, la situation est différente : on possède maintenant des données mensuelles à peu près complètes sur un bon nombre de stations et l'arrivée des moyens informatiques en permettra l'analyse par simples masses, ce qui n'avait pas encore été réalisé.

Il faut également signaler certaines études ponctuelles de bon niveau, comparant différentes formules d'évapotranspiration potentielle entre elles.

Le temps est venu d'étendre ces comparaisons à un niveau spatial plus vaste et de délimiter les zones de validité des différentes formules, pour mieux évaluer les besoins en eau des cultures.

Les gelées constituent un facteur limitant pour l'agriculture et conditionnent parfois l'élaboration des calendriers agricoles : il est donc important de connaître leur répartition et leur fréquence d'apparition, ce qui n'a encore fait l'objet d'aucune étude en Équateur.

### 2. Résumé méthodologique

La méthodologie évoquée dans le paragraphe « pluviométrie » reste valable ici, jusqu'à l'extension des données par corrélations.

Il va sans dire que les techniques employées seront simplifiées, étant donné que les données climatiques varient, dans le temps et l'espace, de façon moins aléatoire que les précipitations.

On calculera l'ETP (évapotranspiration potentielle) par plusieurs formules dont le nombre et le type dépendront des paramètres recueillis ; on les comparera entre elles ainsi qu'aux résultats fournis par le bac d'évaporation ; puis on choisira la formule la plus adaptée dont on délimitera l'aire d'influence.

Elle sera alors corrélée avec les résultats obtenus par une formule plus simple (THORNTHWAITE) et on appliquera l'ajustement aux stations ne possédant que des données de températures.

Après avoir étudié la variation spatiale de l'ETP « standardisée », on pourra établir une moyenne mensuelle et annuelle réaliste des valeurs, sur chaque bassin unitaire.

Pour ce qui concerne les gelées, on comparera d'abord température au sol et sous abri : suivant les résultats obtenus, on évaluera mensuellement la durée et la fréquence d'apparition des gelées, dont on cherchera à expliquer les causes, en vérifiant que la théorie proposée soit conforme à la répartition spatiale des événements.

### 3. Produits attendus

#### *Produits principaux*

- évapotranspiration potentielle mensuelle et annuelle moyenne sur chaque bassin unitaire ;
- localisation, répartition et fréquence des gelées.

#### *Produit annexe*

Création d'une banque de données mensuelles et annuelles (information, programmes de traitement et de gestion).

### 4. Durée de l'opération

Initialement prévue de février 1987 à février 1988, l'opération n'a en fait démarré qu'en mars, souffrant un léger retard dû au départ en stage de l'ingénieur prévu pour la piloter.

On peut cependant espérer que cela ne nuira pas au bon déroulement du travail, et que l'opération se terminera à la date prévue.

### 5. Personnel

ORSTOM  
P. LE GOULVEN

INERHI  
G. COBO (à partir de juillet)  
E. GÓNGORA  
A. SEGOVIA

INAMHI  
EPN

### 6. Formation et valorisation

#### *Formation*

- analyse et synthèse des données aléatoires ;
- rédaction de notes méthodologiques et de manuels d'utilisation des programmes de traitement.

### *Publications*

- communication ou article sur la « validité des formules d'ETP en milieu tropical de montagne » ;
- communication ou article sur « genèse et localisation des gelées dans la Sierra Équatorienne » ;
- rapport final sur les « caractéristiques climatiques des régions sèches de l'Équateur ».

## **7. Collaborations externes**

### *permanentes*

- INAMHI
- ORSTOM - PRONAREG
- Corporations régionales
- Département des études de l'INERHI

### *éventuelles à identifier*

## **8. Principaux documents à consulter**

- pour la méthodologie et les résultats espérés, on consultera les volumes méthodologiques et l'étude générale publiés dans le cadre du projet ORSTOM-IGAC sur l'Altiplano Cundiboyacense ;
- études hydro-météorologiques et hydro-géologiques préliminaires (MAG-ORSTOM) ; on regardera également les annexes où figurent les fiches d'inspection des stations ;
- les études sur « l'Eau en vue de l'irrigation » (MAG-ORSTOM) ;
- Étude hydrologique du bassin du rio Mira (INAMHI) ;
- FRÈRE et RIJKS, Étude Agro-climatologique des régions hautes d'Amérique du Sud, FAO-UNESCO-OMM.

## **III - HYDROMÉTRIE**

### **1. Travaux antérieurs, justifications et résumé méthodologique**

Les travaux d'ORSTOM-PRONAREG constitueront, encore une fois, le support principal de cette étude. De nombreuses stations ont été inspectées et un critère de qualité émis sur chacune d'entre elles.

L'INECEL s'est également intéressé à la question dans le cadre de son plan d'électrification, mais surtout dans des secteurs non irrigués.

Enfin, l'INERHI et le CEDEX ont également réalisé une étude des stations hydrométriques, mais en se fondant principalement sur les résultats de l'INECEL.

Cependant, tous les travaux antérieurs se sont préoccupés de l'analyse des débits observés, sans connaître les prélèvements en amont.

Or, un modèle mathématique de transformation pluies-débits a besoin des écoulements naturels pour caler ses paramètres et vérifier ses résultats.

L'objectif de cette analyse est donc de restituer les apports naturels aux stations hydrométriques choisies et de vérifier l'homogénéité des chroniques reconstituées.

Elle s'appuiera donc sur l'opération C qui a pour tâche principale de localiser les prises d'eau relatives à l'irrigation privée. Les prélèvements effectués par les périmètres publics seront obtenus auprès des districts de l'INERHI, et ceux concernant l'hydroélectricité et l'alimentation des villes, auprès du Plan National des Ressources Hydriques qui en a déjà fait l'analyse.

## **D<sub>2</sub> - ÉVALUATION DES BESOINS**

Le département du Plan National d'Irrigation de l'INERHI a déjà calculé les besoins en eau des systèmes irrigués et potentiellement irrigables, lors de sa collaboration avec la CEDEX.

Cependant, faute de moyens et de temps, les calculs se sont faits sans analyse des données climatiques et en ne considérant que des valeurs moyennes interannuelles.

De plus, les superficies prises en compte n'étaient que des estimations arbitraires des résultats publiés par ORSTOM-PRONAREG, et l'efficacité de l'infrastructure était fixée d'après des normes non adaptées à l'irrigation privée.

Pour toutes ces raisons, l'étude des besoins en eau doit être complétée et affinée.

Les travaux de terrain, menés conjointement avec les autres disciplines, permettront de calculer des efficacités de transport, de distribution et d'application, plus conformes à la réalité.

L'inventaire prévu dans l'opération C nous aidera à mieux circonscrire les superficies irriguées, et l'étude pédologique (opération F) précisera les surfaces potentiellement irrigables.

À partir des analyses pluviométriques et climatologiques antérieures (D<sub>1</sub>), on calculera les besoins théoriques selon la méthode détaillée dans le bulletin 24 de la FAO, que l'on modifiera en introduisant les notions d'efficacité, de qualité de la ressource et de risques encourus par toute défaillance de la fourniture.

Les résultats seront comparés aux concessions accordées par l'INERHI, et l'on essaiera d'estimer la consommation réelle, à partir des études de terrain et des diverses situations socio-économiques rencontrées.

Ce travail, évidemment pluridisciplinaire, sera complété par l'analyse des autres besoins en eau (hydroélectricité, eau potable), dont l'évaluation a déjà été faite par la Direction de Planification.

## **D<sub>3</sub> - ÉVALUATION DE LA RESSOURCE EN EAU**

Plusieurs expériences d'évaluation de la ressource hydrique par une modélisation hydrométrique ont déjà été réalisées en Équateur, par l'INECEL (modèle HEC4), par l'INERHI (modèle de THEMES) et par l'EPN (modèle CIDIAT).

Dans tous les cas, les résultats n'ont pas atteint les espoirs permis, car soit les modèles ont été calés sur les débits observés et non sur les débits restitués, soit ils n'ont pas été adaptés au milieu montagneux équatorien, pour lequel ils n'ont pas été conçus.

Pour remédier à ces imperfections, on choisira des bassins versants correspondant à des stations déjà existantes et dont les limites coïncident à peu près avec celles des bassins unitaires définis par ORSTOM-PRONAREG. On y estimera les prélèvements éventuels, par l'inventaire ou des tournées de terrain, et on procédera à la reconstitution des débits naturels.

Sur chacun de ces bassins, on analysera les relations entre pluies et débits mensuels, pour détecter les facteurs prépondérants de l'écoulement.

On testera alors une série de modèles, en comparant leurs résultats aux valeurs reconstituées, et on sélectionnera la meilleure option (modèle original ou modifié).

Une fois ce choix effectué, on estimera les paramètres de calage en les reliant aux caractéristiques physiques des bassins, dans l'optique de les transposer sur des surfaces non étudiées.

Le calage définitif se fera par grand bassin hydrographique, en comparant les débits calculés aux valeurs reconstituées, pour chacune des stations hydrométriques rencontrées.

#### **D<sub>4</sub> - CONFRONTATION DES RESSOURCES AVEC LES BESOINS**

Le bilan entre offre et demande en eau se fera simultanément sur chaque bassin unitaire et additionnel, mois par mois, et sur un nombre d'années fixé par l'étude pluviométrique.

Un premier diagnostic sera établi sur la situation actuelle, et on mesurera ensuite l'impact des différentes actions proposées sur la disponibilité en eau.

Les composantes D<sub>2</sub> et D<sub>3</sub> devraient débiter en septembre 1987, alors que la dernière devra attendre la constitution de la banque de données sur l'irrigation, au moins pour un grand bassin hydrographique.

**Opération E**

**O C A S E Z I E**

## **Opération E**

### **Observatoire des Changements Agricoles et Socio-Économiques dans les Zones Irriguées Équatoriennes — O C A S E Z I E —**

#### **1. Objectifs**

L' « observatoire des changements agricoles et socio-économiques des zones irriguées équatoriennes » est consacré à l'étude des dysfonctionnements relevant de l'analyse agronomique et socio-économique. Il comprend des travaux fondamentaux qui s'appuient sur les ZARI représentatives (exploitation des données de terrain) mais aussi des travaux de traitement de l'information sur l'ensemble des zones irriguées du pays.

Cette opérations se divise en cinq composantes que nous détaillerons ci-après :

- E<sub>1</sub> - Méthodologie du diagnostic sur la répartition de l'eau dans les ZARI et recherche sur l'amélioration des tours d'eau
- E<sub>2</sub> - Dynamiques agraires autour des aménagements hydro-agricoles (perspectives historiques)
- E<sub>3</sub> - Détermination des productivités agricoles actuelles et potentielles dans chaque ZARI
- E<sub>4</sub> - Évaluation ex-post d'un projet public d'irrigation et comparaison avec une situation voisine « hors projet »
- E<sub>5</sub> - Établissement de comptes macro-économiques par ZARI

#### **2. Travaux antérieurs et justifications**

Plusieurs inventaires socio-économiques ont été réalisés à partir des unités administratives comme la paroisse, le canton, la province, dans le cadre de la coopération entre l'ORSTOM et PRONAREG (MAG). On dispose ainsi de descriptifs concernant la terre, la force de travail, les cultures et l'élevage, la productivité agricole, etc.

Si ces travaux furent utiles, en particulier pour raisonner notre choix de ZARI (cf. opération A), il faut cependant souligner que l'agriculture irriguée n'a jamais constituée un objet d'étude spécifique jusqu'à maintenant : par conséquent, la plupart des données n'isole pas ce qui revient à l'agriculture pluviale hors périmètres irrigués de ce qui correspond à l'agriculture irriguée et parfois pluviale dans les périmètres irrigués.

On dispose cependant de quelques éléments structurels à travers notamment les cartes d'utilisation du sol et les fiches de terrain correspondantes. Quant aux études sur le fonctionnement actuel des zones irriguées, il apparaît dans l'état actuel des connaissances qu'elles sont rares, ponctuelles. Encore plus rares sont celles qui retracent la dynamique de développement de l'irrigation non publique en Équateur.

Ceci donne à l'observatoire un rôle de promotion et de capitalisation des études sur le fonctionnement actuel de l'irrigation. On cherchera la nature des contraintes, leurs origines, les marges d'évolution, les possibilités d'intervention pour mieux gérer la ressource eau.

### 3. Présentation de chaque sous-opération

#### E1 - MÉTHODOLOGIE DU DIAGNOSTIC SUR LA RÉPARTITION DE L'EAU DANS LES ZARI ET RECHERCHE SUR L'AMÉLIORATION DES TOURS D'EAU

La répartition actuelle de l'eau disponible résulte d'un processus historique de constitution de réseaux, d'achats de droit d'eau et d'héritages. Pour comprendre et juger le système de répartition dans chaque ZARI, il est nécessaire de procéder à trois caractérisations différentes :

- équité de la répartition de l'eau entre périmètres ;
- équité de la répartition entre utilisateurs d'un même périmètre ;
- adéquation entre la dotation globale, le fonctionnement du tour d'eau (module, horaire, période) et le comportement hydrique des sols (voir opération spéciale sur ce sujet : F).

##### a) *Équité entre périmètres*

Il s'agit d'identifier les *acequias*, leurs dotations, les périmètres correspondants et leurs superficies, d'élaborer un schéma de distribution en précisant pour chaque périmètre son altitude moyenne (on partira du schéma hydraulique que l'on complétera par la disposition des divers périmètres et des *acequias*), de calculer le débit fictif continu par hectare, indicateur de l'équité de la répartition en liaison avec l'altitude, de noter, quand c'est connu, la présence de conflits ou au contraire d'accords de répartition, ou bien l'absence apparente de règles sur le prélèvement de l'eau dans les rios.

Une très forte inégalité des dotations ne pourra probablement pas être aplanie de façon brutale, du fait des risques de conflits sociaux qu'entraîneraient des décisions externes à la zone. Il faudra donc rechercher un consensus entre les groupes d'utilisateurs en incluant ce problème de répartition dans celui de l'amélioration des infrastructures : accroissement et sécurité de l'approvisionnement global de la ZARI.

Si l'amélioration des infrastructures permet de doter tous les périmètres d'un débit satisfaisant, le consensus pourra probablement être trouvé ; si elle ne peut atteindre cet objectif, il sera bien plus difficile de répartir le manque d'eau, en particulier si certains groupes disposent de suffisamment d'eau, par droit hérité ou par situation géographique favorable dans le système de distribution de l'eau.

##### b) *Équité entre utilisateurs d'un même périmètre*

Dans tous les cas où un périmètre est constitué de petites et moyennes exploitations, se pose le problème de l'équité de la répartition du débit disponible. Deux cas se présentent :

- existence d'un tour d'eau organisé ;
- distribution à la demande.

On repérera les secteurs du périmètre étudié où se profile un manque d'eau ; on cherchera des explications dans le dérèglement du tour d'eau ou dans l'existence de situations de rente.

C'est l'expérience acquise dans les travaux de terrain (ZARI représentatives de l'opération B) qui nous donnera tous les cas de figure de la répartition inégale et inefficace de l'eau, et les moyens de les identifier par enquête rapide sur d'autres ZARI.

L'amélioration ou la création de tours d'eau dans un périmètre suppose une étude d'adéquation entre la demande des cultures, le comportement hydrique des sols, les connaissances techniques des irriguants et le consensus social pour répartir la ressource.

Les facteurs qui jouent sur l'optimisation du tour d'eau sont les suivants :

- demande climatique de la plante cultivée la plus exigeante de la zone ;
- dotation maximale que le sol peut incorporer sans perte au champ, fonction de la capacité au champ, du point de flétrissement permanent, de la densité apparente du sol, de la profondeur d'enracinement de la plante considérée.

Ces deux éléments donnent le rythme de l'irrigation nécessaire et par conséquent la période du tour d'eau.

Ensuite il faut chercher les modalités du tour d'eau, c'est-à-dire le module et les horaires d'irrigation par hectare. Étant donné que l'essentiel de l'irrigation s'effectue à la raie, on doit tenir compte de plusieurs facteurs :

- la taille et la forme des parcelles ;
- l'orientation et de la longueur des sillons ;
- le temps de progression de l'eau dans les sillons ;
- le temps d'humidification du profil cultural ;
- les pertes éventuelles aux cultures et dans le sol ;
- le temps que l'irriguant veut consacrer à l'opération ;
- sa présence continue ou non continue au champ ;
- les risques d'érosion.

Il s'agira donc de concevoir une méthode de diagnostic sur la répartition de l'eau en prenant en compte les conditions équatoriennes de l'irrigation, et de proposer des recommandations adaptées. Les opérations G (étude des phénomènes d'érosion liés à l'irrigation) et F (étude du comportement hydrique des sols) devraient permettre de fournir les références techniques indispensables à la réalisation de ces diagnostics. À l'issue de cette sous-opération E<sub>1</sub>, un manuel sera rédigé afin que n'importe quel ingénieur de terrain puisse effectuer lui-même le diagnostic.

#### *Durée de l'opération*

Deux ans (deux campagnes d'irrigation)

#### *Personnel*

ORSTOM  
T. RUF

INERHI  
M. PROAÑO  
M. DURANGO

(travail conjoint avec les opérations D, F & G)

## **E<sub>2</sub> - DYNAMIQUES AGRAIRES AUTOUR DES AMÉNAGEMENTS HYDRO-AGRICILES (PERSPECTIVES HISTORIQUES)**

Cette sous-opération a pour but de retracer l'histoire des zones irriguées, d'inventorier les diverses transformations des systèmes agraires, de trouver des indicateurs simples les reflétant. On

procédera à l'analyse historique des changements techniques, agricoles, économiques et sociaux des ZARI représentatives et de certaines autres zones, choisies en fonction de l'existence de documents monographiques. Ce travail sera confié essentiellement à un ingénieur agronome français, Angela HILMI (deux ans de présence en Équateur à partir d'octobre 1987 en vue d'une thèse), qui en développera la méthodologie en liaison avec l'équipe ORSTOM-INNERHI en temps opportun.

### **E<sub>3</sub> - DÉTERMINATION DES PRODUCTIVITÉS AGRICOLES ACTUELLES ET POTENTIELLES DANS CHAQUE ZARI, ET DES ÉLÉMENTS EXPLICATIFS DE CES PRODUCTIVITÉS**

Dans la plupart des documents de faisabilité de projets, on mise sur une transformation rapide de l'agriculture qu'induit le projet pour en déduire une certaine rentabilité propre à satisfaire les exigences des bailleurs de fonds. Cette vision repose sur l'idée que des améliorations structurelles entraînent obligatoirement l'accroissement des rendements agricoles jusqu'à l'obtention de productions équivalentes à celles obtenues en stations de recherche agronomique. Dans certains cas, le document de faisabilité introduit en plus une notion de temps nécessaire pour atteindre le modèle d'agriculture intensive proposé par le projet : trois, cinq, sept ans, etc.

Cette projection réalisée par les bureaux d'études apparaît fort discutable pour deux raisons essentielles :

- d'une part, elle est circonstancielle ; on s'arrange pour atteindre effectivement un taux de rentabilité interne du projet rassurant pour les financiers ;
- d'autre part, l'effet de retour peut être aussi important que la surestimation des résultats : après quelques années, règne un sentiment d'échec, échec que l'on attribue volontiers aux agriculteurs jugés incapables d'atteindre ces objectifs ; or, ceux-ci n'ont jamais été fixés par eux et ne correspondent pas toujours ni à leurs moyens, ni à leurs contraintes de gestion.

La sous-opération E<sub>3</sub> aura pour objectif d'examiner de manière réaliste quelle est la productivité actuelle et potentielle des principales unités d'usage du sol telles qu'elles ont été définies par l'équipe ORSTOM-PRONAREG pour l'établissement des cartes d'usage du sol. On définira quelle pourrait être l'amélioration de cette productivité en cas d'amélioration sensible des conditions d'irrigation .

PAA = productivité agricole actuelle d'une unité d'usage du sol

PAP = productivité agricole potentielle d'une unité d'usage du sol (avec irrigation maîtrisée)

Comme dans la plupart des cas, une ZARI comprend plusieurs unités d'usage du sol ; il faudra donc décomposer la PAA et la PAP d'une ZARI.

#### *Résumé méthodologique*

On commencera par caractériser l'unité d'usage du sol par un assolement précis, avec la proportion de chaque sole. On cherchera pour chaque production végétale ou animale des données sur les rendements passés (d'une vingtaine d'années) et actuels, afin de situer la productivité actuelle de chaque production dans une certaine dynamique et d'estimer l'évolution possible pour les dix prochaines années.

On caractérisera la productivité d'une unité d'usage du sol par l'ensemble des productions dégagées annuellement sur les différentes soles qui la composent. Dans bien des cas, elle sera faible, et on cherchera à expliquer cette faiblesse en ayant recours à plusieurs scénarios :

- Les conditions d'irrigation sont très mauvaises :
  - par manque d'eau généralisé ;
  - du fait d'une répartition très inégale ;
  - par manque d'organisation de tours d'eau ;
  - du fait de pratiques d'irrigation non maîtrisées.
- L'écosystème cultivé ne répond plus aux exigences des systèmes de production, avec pour manifestation :
  - la dégradation de la fertilité des sols ;
  - des processus érosifs avancés.
- Les systèmes de culture sont à la limite des biotopes des plantes cultivées :
  - allongement des cycles devenant limitant ;
  - risques de gelées trop importants.
- La répartition foncière est très inégale, ne permettant de développer des formes d'agriculture plus intensives dans pratiquement aucune des structures de production (certains *hacendados* vivent seulement de la rente foncière sans se préoccuper de l'agriculture tandis que de petits paysans pratiquent avec difficulté une agriculture de subsistance sur des lopins de terre).
- Les statuts des agriculteurs ne sont pas propices à l'intensification, comme dans le cas de mé-tayage ou d'autres formes précaires de tenure de la terre.
- La force de travail familiale n'est pas disponible :
  - parce qu'elle est occupée à d'autres activités ;
  - parce que le calendrier cultural d'un système plus intensif n'est pas compatible avec le temps réservé par la famille à l'agriculture ;
  - par ailleurs, la force de travail extérieure est rare et chère (à certaines périodes clefs) pour suivre un modèle plus intensif.
- Il n'y a pas d'association entre l'agriculture et l'élevage : les fonctions de fertilisation, de traction et d'épargne que pourrait assurer l'élevage sont absentes dans les systèmes de production.
- Les moyens techniques et financiers manquent pour réaliser les opérations culturales clefs.
- Les agriculteurs manquent de formation (analphabétisme), ce qui limite l'accès à de nouveaux référentiels techniques, ou empêche l'analyse critique de nouvelles expériences (et de leurs éventuels échecs).
- Les risques de mauvaise commercialisation sont grands, faute d'organisation de celle-ci par d'autres agents que les commerçants « intermédiaires ». Ces derniers imposent un mode de commercialisation et des prix qui leur assurent le plus grand bénéfice. En conséquence, les agriculteurs qui pratiquent une agriculture extensive de subsistance, ne sont pas encouragés à évoluer vers une agriculture plus rémunératrice du travail et plus intégrée aux marchés agricoles.

La liste des scénarios expliquant la productivité d'une unité d'usage du sol n'est pas close. On trouvera avec nos études de ZARI représentatives d'autres explications. Dans chaque ZARI, on devra systématiquement associer à la productivité trouvée les éléments explicatifs certains ou

probables décelés grâce à des indicateurs simples et facilement prélevables sur le terrain et utilisés dans la deuxième phase de l'opération C de caractérisation exhaustive des ZARI.

Si le nombre initial de ZARI représentatives s'avère insuffisant pour couvrir toutes les unités d'usage du sol repérées, on procédera à des enquêtes spécifiques dans un nouvel échantillon de ZARI comprenant ces unités délaissées dans le premier choix (opération A).

*Durée*

18 mois

*Personnel*

**ORSTOM**  
T. RUF  
1 VSN

**INERHI**  
M. PROAÑO  
M. DURANGO  
2 économistes  
2 assistants

#### **E<sub>4</sub> - ÉVALUATION EX-POST D'UN PROJET PUBLIC D'IRRIGATION ET COMPARAISON AVEC UNE SITUATION VOISINE « HORS PROJET »**

L'INERHI intervient depuis plus de 20 ans dans la conception, la réalisation et la gestion de projets d'irrigation de taille moyenne (1 000 à 10 000 ha). Les évaluations de ces projets sont rares, tant sur le plan strictement économique que sur celui des changements induits par l'intervention publique. On propose dans cette sous-opération de procéder à l'évaluation la plus complète possible des effets d'un projet, selon une méthode pratiquée notamment par le Ministère français de la Coopération. On travaillera par comparaison avec une situation voisine sans projet.

L'évaluation comporte cinq points :

**a) *Présentation de la situation avant projet***

- milieu physique : climat, géomorphologie, sols, avec les caractères essentiels ;
- milieu humain : démographie, économie régionale, types d'exploitations agricoles (foncier, force de travail, etc.) ;
- fonctionnement ancien de la répartition de l'eau et de son utilisation (infrastructures, règles de répartition, systèmes de cultures irriguées, résultats...).

**b) *Vie du projet***

- objectifs initiaux pour financer le projet ;
- chronologie des réalisations du projet et des éventuelles difficultés, évolution des objectifs ;
- types de financement, coûts.

- c) *Évolution comparée de l'agriculture sur une zone du projet et sur une zone hors projet*
- extension des superficies aménagées, irriguées, et de la production agricole ;
  - y a-t-il des exploitations agricoles qui ont su ou pu mieux valoriser l'eau apportée par le projet ? ;
  - quelles sont les conditions, autres que l'apport d'eau, qui ont joué sur l'évolution décrite ? (pression démographique, exode rural, conditions de commercialisation, maladies phyto-sanitaires, etc.) ;
  - établir une typologie d'évolution des exploitations agricoles, en précisant l'effet du projet sur chaque type, et la représentation de chaque type.
- d) *Analyser les réactions du projet par rapport aux résultats obtenus, et les réactions des exploitants agricoles par rapport aux projets.*
- e) *Établir les comptes macro-économiques de l'année passée selon la méthode « des effets », c'est-à-dire en décomposant les comptes par principaux agents économiques (la sphère des producteurs agricoles, celle des commerçants, celle des entrepreneurs privés, celle de l'État à travers l'institution chargée du projet).*

*Durée*  
6 mois

*Personnel*  
Deux étudiants français en stage d'ingénieur venant du CNEARC de Montpellier.

## **E<sub>5</sub> - ÉTABLISSEMENT DE COMPTES MACRO-ÉCONOMIQUES PAR ZARI**

Connaître la situation macro-économique actuelle et sa possible évolution après amélioration de l'irrigation, tel est l'objectif de cette opération. Il s'agit d'estimer, en fonction du diagnostic sur la situation de l'eau,

- le coût d'un projet d'amélioration adapté à chaque ZARI ;
- les effets économiques réalistes d'un tel projet.

Cette sous-opération devra être engagée avec beaucoup de prudence, car la succession d'estimations des PAA, des PAP, des valeurs marchandes, des coûts, risque d'entraîner un cumul d'erreurs important. Les détails de E<sub>5</sub> ne sont pas encore connus, et il est fort probable qu'il faille définir des méthodes de calcul en fonction de la qualité des études et des inventaires des différentes sous-opérations.

## **4. Rappel des principaux produits de l'opération E**

E<sub>1</sub>

- manuel méthodologique sur le diagnostic précis de la répartition de l'eau et le raisonnement de son amélioration dans les ZARI ;
- indicateurs de l'équité de la répartition (pour opération C) ;

E<sub>2</sub>

- thèse sur les dynamiques agraires des zones irriguées ;
- indicateurs de ces dynamiques (pour opération C, inventaire) ;

E<sub>3</sub>

- rapport sur la productivité de zones irriguées et des scénarios divers qui l'expliquent ;
- caractérisation, par extension de résultats d'enquêtes et par éléments d'inventaire, de la productivité actuelle et potentielle de chaque ZARI en vue de l'opération H (banque de données).

E<sub>4</sub>

- rapport d'évaluation d'un projet public d'irrigation, aspects méthodologiques et résultats ;

E<sub>5</sub>

- comptes macro-économiques des ZARI.

Par ailleurs, chaque ZARI représentative de l'opération B fera l'objet d'un rapport final d'étude présentant le diagnostic de situation agro-socio-économique (la partie bilan hydrologique étant rédigée par l'équipe de l'opération D (EGRADIE), celle du comportement des sols par l'équipe de F (EPOPIE), celle des risques d'érosion liée à l'irrigation par l'équipe du G (EPELIE) ; ce rapport indiquera les possibilités de transformation des systèmes étudiés et pourra servir de base à l'élaboration et au financement d'un projet adapté à la situation de la ZARI. Il est prévu de présenter les résultats sur le terrain.

## 5. Rappel du personnel

### *France*

T. RUF (ORSTOM), A. HILMI (thésarde sur 2 ans), un assistant VSN, 2 étudiants français stagiaires (6 mois)

### *Équateur*

M. PROAÑO (agronome), E. JUNA (économiste), M. DURANGO (économiste), 2 assistants dessinateurs

## 6. Durée de l'opération

L'ensemble des travaux de l'observatoire s'effectuera tout au long de la vie du projet, soit 30 mois prévus.

## 7. Principaux contacts extérieurs

### *Équateur*

- INIAP
- MAG-PRONAREG
- CESA et autres ONG
- Universités
- Représentation de la FAO

### *France*

- CNEARC et autres écoles agronomiques
- ORSTOM, UR Systèmes de production, département E

## 8. Premiers éléments bibliographiques

- ALOP, 1980. *Proyecto de apoyo para acciones de riego y rehabilitación de tierras para grupos marginados de la Sierra ecuatoriana*, ALOP, Quito, 14 p. + annexes
- ALOP-CESA- ONADE-FAO-MAG-SEDRI, 1984. *La situación de los campesinos en ocho zonas del Ecuador*, Edimpres S.A., Quito, 2 tomes, 496 p.
- BERNARD, A. et al., 1974. *II Censo Agropecuario 1974, Resultados provisionales. Distribución de la tierra. Resumen nacional*, MAG-INEC, Convenio MAG-ORSTOM, Quito, 147 p. multig.
- BOTHMER (von), M.D., 1974. *Análisis del mercado en el proyecto Montúfar*. Séminaire international « Las infraestructuras de los distritos de riego », novembre 1974, INERHI-DSE-FAO, 52 p.
- DARREGERT, B., 1981. *Estudio de los sistemas tradicionales de riego en Centro-Loja Ecuador*, Séminaire « Aspectos técnicos y socio-económicos del riego en las zonas marginadas », décembre 1981, CATER, Loja, 46 p.
- DELAUNAY, D., 1986. Las migraciones interprovinciales en el Ecuador, in *Documentos de Investigación*, série Demografía y Geografía de la Población, n° 4, CEDIG, Quito
- FAO, BIRD, 1975. *Ecuador, Tungurahua irrigation and rural development project, preparation mission*, 2 vol., juin 1975.
- FAO-World Bank cooperative programme, Vol. 2, annexes, Rome, 120 p.
- FAUROUX, E. ; RAMOS, M. et al., 1979. *Diagnóstico socio-económico del medio rural ecuatoriano. Formación de las estructuras agrarias en el Ecuador. Metodología*, MAG-ORSTOM, Quito, 95 p. multig.
- FAUROUX, E. ; RAMOS, M. et al., 1979. *Diagnóstico socio-económico del medio rural ecuatoriano. B. ZSEH de la Costa. C. ZSEH de la Sierra*, MAG-ORSTOM, Quito, 2 vol., B 194 p. ; C 178 p. multig.
- FAUROUX, E., 1983. Les transformations récentes des grandes exploitations agricoles dans la Sierra et la Costa de l'Équateur, in *Cahiers ORSTOM*, série Sciences Humaines, Vol. XIX, n° 1, Paris, p. 29-42
- GALLARDO G., 1983. El plan nacional de riego. Communication Symposium « Modemas orientaciones sobre problemas de planificación y administración de recursos hidráulicos », Instituto Italo-Latinoamericano-EPN, Quito, 14-18.03.1983, p. 595-611
- GONDARD, P., 1985. Du paysage à la planification : inventaire de l'utilisation actuelle du sol et des formations végétales dans les Andes équatoriennes, in *Dynamique des Systèmes Agraires à travers champs*, agro. & géog., ORSTOM, Paris, p. 265-288
- GONDARD, P., 1984. *Inventario y cartografía del uso actual del suelo en los Andes ecuatorianos*, MAG-ORSTOM-CEPEIGE, Quito, 92 p., fig., cart., phot., bibliog.
- GONDARD, P., 1985. L'utilisation des terres dans les Andes équatoriennes. De l'inventaire à la dynamique des transformations, in *Car. Recherche et Développement*, n° 6, avril 1985, Montpellier, p. 45-54
- MOTHE, P. A., 1986. *Pimampiro's canal : adaptation and infrastructure in northern Ecuador*, University of Texas et Austin, 247 p.
- PORTAIS, M., 1978. *Las zonas agrícolas para la programación integrada (ZAPI)*, MAG-ORSTOM, Quito, 391 p., cart., multig.
- PORTAIS, M., 1986. Repartición geográfica de la población en el Ecuador, in *Documentos de Investigación*, série Demografía y Geografía de la Población, n° 3, CEDIG-ORSTOM, Quito, 20 p.
- S.A. AGRER N.V., 1982. *Proyecto El Pisque, Plan Maestro Quinquenal. Dirección de operación y desarrollo de sistemas de riego*, INERHI, Quito, 268 p. + cart.
- SOTOMAYOR V., J. ; MONTENEGRO, M., 1983. *El régimen tarifario en aguas en los proyectos en operación del INERHI*, Communication Symposium « Modernas orientaciones sobre problemas de planificación y administración de recursos hidráulicos », Instituto Italo-Latinoamericano-EPN, Quito, 14-18.03.1983, p. 659-683.
- SUÁREZ, E. ; VERA, D. ; ENDARA, J. ; ARIAS, E. ; BERNARD, A. et PRONAREG, 1978. *Diagnóstico socio-económico del medio rural ecuatoriano. La tierra*, Doc. n° 2, MAG-ORSTOM, 216 p. multig.
- SUÁREZ, E. ; VERA, D. ; ENDARA, J. ; ARIAS, E. ; BERNARD, A. et PRONAREG, 1978. *Diagnóstico socio-económico del medio rural ecuatoriano. Población y empleo*. Doc. n° 3, MAG-ORSTOM, Quito, 403 p. multig.

- SUÁREZ, E. ; VERA, D. ; ENDARA, J. ; ARIAS, E. ; BERNARD, A. et PRONAREG, 1978. *Diagnóstico socio-económico del medio rural ecuatoriano. La ganadería*, Doc. n° 5, MAG-ORSTOM, Quito, 254 p. multig.
- SUÁREZ, E. ; VERA, D. ; ENDARA, J. ; ARIAS, E. ; BERNARD, A. et PRONAREG, 1978. *A. Producción agrícola; B. Productividad agrícola; C. Insumos agrícolas; D. Calendario agrícola*, Doc. n° 4, MAG-ORSTOM, Quito, 4 Vol., A : 294 p., B : 397 p., C : 517 p. , D : 528 p. multig.
- THOMASSIN, M.M., 1985. *Analyse des données et représentation cartographique. Un exemple : dominantes culturales et élevage de la Sierra équatorienne*, Comité Français de Cartographie, Bull. n° 2, fasc. 104, p.19-30, cart.
- USAID (United States Agency for International Development), 1980. *Small farm irrigation improvement in Salcedo, Ecuador : technical, economic & institutional feasibility*. préparé par HANCOCK, K. ; ANDERSON, A. et al., Washington D.C., USAID.
- VERA ALARCÓN, D. ; PORTAIS, M., 1979. *Delimitación de las zonas agrícolas para la programación integrada (ZAPI) 1. Costa; 2. Sierra*, PRONAREG-ORSTOM, MAG, juin 1979, 391 p.
- VINVINELLI, P. ; CACCIAMANI, D., 1983. *Proyecto para el desarrollo del cultivo de arroz en la cuenca del río Guayas - Ecuador*. Communication Symposium « Modernas orientaciones sobre problemas de planificación y administración de recursos hidráulicos », Instituto Italo-Latinoamericano-EPN, Quito, 14-18.03.1983, 10 p.

**Opération F**

**E P O P I E**

## Opération F

### Étude Pédologique sur les Problèmes de l'Irrigation en Équateur — E P O I E —

**Comportements hydriques, étude des contraintes édaphiques et potentiels  
d'extension des périmètres Irrigués, par ZARI**

#### 1. Objectifs

Cette opération appelle la responsabilité d'un chercheur français de l'ORSTOM : ses composantes ne sont donc pas encore connues dans le détail, mais elles s'orientent selon les axes suivants :

- un regroupement des catégories de sols définis par ORSTOM-PRONAREG selon leur comportement hydrique, permettant de cartographier la réserve utile des sols et de caractériser de ce point de vue les différentes ZARI du pays ;
- une étude précise, sur les ZARI représentatives, de ce comportement physico-hydrique dans chacun des périmètres, afin de juger l'adéquation de la distribution de l'eau, tout en obtenant de nouvelles références sur les catégories de sols présentes ; on examinera aussi l'influence des façons culturales sur l'économie de l'eau ;
- une estimation critique de l'influence de l'irrigation et des systèmes de production correspondants sur les caractéristiques des sols ;
- une analyse fine des critères de délimitation des zones potentiellement irrigables (en liaison avec l'opération G).

#### 2. Antécédents, justifications

On dispose d'une couverture pédologique très complète sur le pays, mais les légendes ne permettent pas une exploitation directe de ces documents : il faut donc les interpréter et procéder à de nouvelles mesures, orientées sur les problèmes hydriques.

En 1987, un premier suivi de parcelles sur la ZARI de Puembo-Pifo permettra de formuler quelques hypothèses sur l'adéquation entre les pratiques d'irrigation et les caractéristiques physico-hydriques de sols sablo-limoneux sur « cangahua » bien représentés dans le nord de la *Sierra*. Par ailleurs, on évaluera de manière systématique la dotation utile que peut recevoir le sol dans chaque périmètre de la ZARI, ceci venant compléter l'étude agro-sociologique sur la répartition de l'eau et la campagne de jaugeages prévue en pleine saison sèche (juillet-août-septembre). Ce travail sera poursuivi et affiné avec l'arrivée du chercheur pédologue pressenti.



**Opération G**

**EPELIE**

## **Opération G**

### **Étude des phénomènes d'érosion liés à l'irrigation en Équateur — E P E L I E —**

#### **1. Objectifs**

Comme la précédente opération, cette étude n'a pas encore été définie dans les détails, étant sous la responsabilité future du groupe de travail MAG-ORSTOM sur la dégradation des sols par l'érosion : ne seront présentées ici que les axes généraux de recherche :

- identification des phénomènes d'érosion dus directement ou indirectement au transport et à l'utilisation de l'eau ; importance de ces phénomènes dans les ZARI représentatives ;
- recherche des paramètres favorisant les processus érosifs décrits précédemment, notamment l'évaluation des vitesses linéaires limites pour la pratique de l'irrigation à la raie (la plus répandue) en fonction de la pente, du type de sols et de système cultural ;
- recherche de dispositifs de conservation des sols (prévention ou récupération, lorsque l'érosion existe déjà).

#### **2. Antécédents, justifications**

Une équipe MAG-ORSTOM (PRONACOS) étudie depuis déjà plusieurs années les processus érosifs d'origine éolienne et ceux liés aux ruissellements après les pluies. Suite aux contacts pris au démarrage du projet de recherche ORSTOM-INERHI et aux observations réalisées dans les premières tournées de terrain, il est apparu que l'érosion dans les zones irriguées n'est pas négligeable, mais bel et bien négligée.

Or, un processus de dégradation des sols peut signifier l'existence d'un dysfonctionnement local ou général dans la zone d'irrigation.

C'est pour comprendre ces phénomènes et pour disposer de leurs représentations dans toutes les ZARI, que l'idée d'une collaboration entre les deux équipes de recherche a germé.

Pour l'année 1987, aucun travail particulier n'a été entrepris dans ce domaine ; seules les enquêtes agro-sociologiques sur la répartition de l'eau se sont intéressées aux éboulements et aux interruptions de service.

Cette opération devrait être définie avec précision avant la fin de l'année 1987.



**Opération H**

**BIDRIE**

## Opération H

### Banque Informatisée des Données Relatives à l'Irrigation Équatorienne — B I D R I E —

Actuellement, les données sur l'irrigation privée sont recueillies par les agences régionales de l'INERHI, et constituent des dossiers techniques et judiciaires assez volumineux.

La Direction de l'Administration de l'Eau centralise cette information et reçoit les modifications chaque année.

Les dossiers, ainsi constitués, mettent surtout l'accent sur l'infrastructure d'équipement et les débits concédés, mais peu sur les périmètres eux-mêmes, encore que les différents actes juridiques peuvent donner une idée des problèmes de fonctionnement.

La Banque Informatisée des Données Relatives à l'Irrigation devra contenir les éléments descriptifs des systèmes irrigués et les paramètres indicatifs de leur fonctionnement. Elle rassemblera donc les résultats obtenus dans l'opération C et les organisera de manière fonctionnelle, par grand bassin hydrographique et par ZARI. L'information concernant ces dernières sera répartie dans plusieurs archives :

- un fichier de l'infrastructure (prises d'eau, *acequias* principales, secondaires...);
- un fichier des périmètres et des usagers ;
- un fichier d'organisation entre *acequias* et périmètres ;
- un fichier de synthèse.

Les données devront être facilement accessibles pour permettre d'éventuelles modifications et la réactualisation. On utilisera donc des logiciels déjà connus (D BASE III par exemple) et compatibles avec le futur équipement informatique de l'INERHI.

La banque de données permettra ainsi un dialogue permanent avec les agences régionales et une gestion plus efficace de la ressource.

Cette opération est, pour le moment, dans l'attente du recrutement d'un ingénieur devant s'occuper du micro-ordinateur de la Direction de la Planification de l'INERHI.

La conception de la banque se fera conjointement avec la Direction de l'Administration de l'Eau.