



**PHICAB**

ORSTOM

**LES CONDITIONS D'UNE ETUDE  
HYDROLOGIQUE EN AMAZONIE  
BOLIVIENNE**

**NICHEL ALAIN ROCHE**

ORSTOM

LES CONDITIONS D'UNE ETUDE  
CLIMATIQUE ET HYDROLOGIQUE  
EN AMAZONIE BOLIVIENNE

PHICAB

MICHEL-ALAIN ROCHE

JUIN 1982

## SOMMAIRE

1. L'HYDROLOGIE DANS LE CONTEXTE DU DEVELOPPEMENT REGIONAL AMAZONIEN
  - 1.1. L'aspect national
  - 1.2. L'intervention des études hydrologiques et pluridisciplinaires
  - 1.3. Les motivations spécifiques d'une étude hydrologique en Amazonie bolivienne
  - 1.4. L'aspect international
  - 1.5. La position de l'ORSTOM et de sa Section d'Hydrologie
2. LES ORGANISMES BOLIVIENS ET INTERNATIONAUX IMPLIQUES EN HYDROLOGIE
  - 2.1. Le Service National de Météorologie et d'Hydrologie (SENAMHI)
  - 2.2. Le Service Hydrographique Naval (SHN)
  - 2.3. L'entreprise Nationale de Développement Electrique (ENDE)
  - 2.4. L'Institut d'Hydraulique et d'Hydrologie (UMSA)
  - 2.5. Les Sociétés Régionales de Développement (CORDEBENI, CORDEPAZ,...)
  - 2.6. La Commission Bolivienne d'Energie Nucléaire (COBOEN-AIEA)
3. LES CARTES ET IMAGES SATELLITES
4. CAMPAGNES DE RECONNAISSANCE SUR LE TERRAIN
5. LES MOYENS DE TRANSPORTS ET LES TELECOMMUNICATIONS
  - 5.1. Voitures
  - 5.2. Bateaux-cargos
  - 5.3. Pirogues et embarcations légères à moteurs hors-bord
  - 5.4. Avions
  - 5.5. Télécommunications
6. LES LOCAUX
7. LES ASPECTS HYDROGRAPHIQUE, HYDROLOGIQUE, HYDROMETRIQUE DU BASSIN
  - 7.1. Les grands bassins du haut-Madeira
  - 7.2. Aspects des fleuves
  - 7.3. Etat du réseau hydrométrique
8. HYDROCHIMIE ET MARQUAGE NATUREL
9. PROGRAMMES HYDROMETRIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES OPERATIONNELS
  - 9.1. Climatologie et pluviométrie
  - 9.2. Apports fluviaux des Andes
  - 9.3. Apports des grands formateurs du Madeira
  - 9.4. Inondations du bassin du Mamoré
  - 9.5. Physico-chimie et transports solides des fleuves

10. LES MOYENS NECESSAIRES AUX DIFFERENTES OPERATIONS SUR LE TERRAIN

- 10.1. Opération "climatologie-pluviométrie"
- 10.2. Opération "Apport des Andes"
- 10.3. Opération "formateurs du Madeira"
- 10.4. Opération "inondations du Mamoré"
- 10.5. Opération "physico-chimie et transports solides"
- 10.6. Récapitulation de l'ensemble des crédits nécessaires

## 1. PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT DANS LA REGION AMAZONIENNE ET POSSIBILITES D'INTERVENTION DE L'ORSTOM

### 1.1. L'aspect national

L'Amazonie représente pour les pays andins un espoir face au problème de l'exploitation des ressources naturelles, souvent arrivées à saturation dans les "vieilles" Andes. Aussi, les ambitions de développement se tournent-elles vers la vaste plaine amazonienne, non seulement pour les populations en place qui y sont dissimulées, mais aussi pour certains habitants des Andes qui pourraient y trouver une terre nationale d'immigration leur offrant une ouverture sur une vie nouvelle.

Toutefois, les conditions naturelles y sont très différentes et plus difficiles que celles des Andes, mais trop mal connues pour qu'un plan de développement soit rationnellement établi. En fait, une politique de développement doit se concevoir par une adaptation aux conditions naturelles extrêmement marquées, en accord avec les possibilités d'hospitalité et les ressources naturelles de ces régions caractérisées avant tout par leur isolement. C'est ainsi que doivent intervenir les études scientifiques appliquées au développement.

### 1.2. L'intervention des études hydrologiques et pluridisciplinaires

Il existe bien entendu plusieurs possibilités d'aborder un problème de ce type. L'une d'entre elles fait appel à des études intégrées exhaustives qui demandent, durant de nombreuses années, une organisation complexe et le concours de moyens importants avec de nombreux spécialistes nationaux et étrangers au pays. Il existe une autre méthode, moins ambitieuse mais également efficace : étudier les facteurs les plus limitants et les ressources principales. Ces préoccupations de base peuvent être réalisées dans le cadre d'accords différents signés avec des partenaires spécialisés, l'ensemble constituant cependant une étude intégrée limitée.

Cette dernière démarche paraît la mieux adaptée à la Bolivie, pays le plus pauvre du continent sud-américain où, là aussi, l'Amazonie représente un grand espoir de développement. Dans ces zones de savane et de forêt, quadrillées de grands fleuves, le problème des populations se trouve lié, avant tout, au milieu aquatique qui conditionne l'ensemble de la vie régionale. Aussi se présente d'emblée un axe de recherche prioritaire : le milieu aquatique.

Un projet d'accord a été élaboré entre l'ORSTOM et le Service de Météorologie et d'Hydrologie de Bolivie (SENAMHI) pour l'étude du climat et de l'hydrologie des grands fleuves du bassin amazonien en Bolivie. Le programme, qui sera examiné en détail dans ce rapport, prévoit d'une part un volet opérationnel, par l'implantation d'un réseau pluviométrique et hydrométrique de base permettant l'obtention de données sur les ressources (quantités et qualités) et sur les régimes hydriques, d'autre part la synthèse régionale intégrant les résultats déjà existant principalement dans la zone andine.

Cette étude climatologique et hydrologique, contribuerait pour une grande part à compléter les connaissances du milieu aquatique car elle serait harmonisée à un programme d'étude des ressources piscicoles du bassin amazonien de Bolivie, en cours depuis 1981 à Trinidad, capitale de la région. Ce programme ichtyologique concrétise un accord de coopération entre l'ORSTOM, l'Université Majeure de San Andrés (UMSA), l'Université Technique du Béni (UTB) et la Société Régionale de Développement du Béni (CORDEBENI). Les travaux d'Hydrobiologie, prévus pour quatre ans dans une première phase, s'attachent à l'inventaire et la systématique des poissons, à la biologie des principales espèces de poissons et à l'étude des pêches locales. L'ORSTOM a affecté trois ichtyologues et fournit une partie des moyens logistiques et scientifiques.

Outre l'importance du milieu aquatique, qui justifierait d'ailleurs l'intervention d'autres biologistes, il faut savoir que la richesse effective actuelle de la région repose sur l'élevage, et qu'un développement de cette ressource, et secondairement de l'agriculture pour une auto-suffisance, devrait focaliser les recherches futures dans cette zone.

Dans cette perspective, se place un projet ORSTOM d'étude des sols du piémont amazonien des Andes, comprenant leur caractérisation, l'évaluation de leur potentiel agronomique et de leur aptitude à l'irrigation. Il est actuellement en attente ("prévu pour 1983"), et se déroulerait selon un accord avec la Faculté d'Agronomie de l'Université de Cochabamba (UMSS) et éventuellement un autre partenaire bolivien.

Par ailleurs, une équipe de Médecin et Technicien de l'ORSTOM collabore depuis 1980, avec des Médecins de l'Institut Bolivien de Biologie d'Altitude de La Paz (IBBA) (1), à l'étude de la Maladie de Chagas et des Leishmanioses dans les vallées amazoniennes des Andes. Ces deux maladies tropicales, très répandues en Amérique du Sud, constituent un grave handicap au développement. L'extension de leur étude à la plaine amazonienne est prévue. Elle serait d'un grand secours aux populations extrêmement dispersées et isolées, en raison de l'élevage extensif en ranchos, et dont il est désolant de constater les conditions sanitaires très précaires.

### 1.3. Les motivations spécifiques d'une étude hydrologique en Amazonie Bolivienne

Les motivations nationales d'une étude hydrologique sont nombreuses :

---

(1) IBBA : Accord entre le Ministère des Relations Extérieures de France (Institut Pasteur de Lille), le Ministère de la Santé Publique de Bolivie, et l'Université Majeure de San Andrés (UMSA).

Les vastes fleuves descendus des Andes et du bouclier brésilien convergent vers le Rio Madeira, deuxième affluent de l'Amazone.

- Ils constituent l'essentiel des voies de transport, lequel s'effectue avec de grandes barges à moteur diesel depuis les Andes jusqu'aux premiers rapides du Madeira.

- Des ressources hydroélectriques considérables, exploitées pour une faible part dans les Andes, existent également dans la région des rapides, notamment à Cachuela Esperanza. Toutefois, les fleuves qui collectent l'érosion intense des Andes transportent des quantités énormes de sédiments, non encore mesurées, néfastes aux retenues de barrage.

- Ces fleuves sont l'avenir d'un développement agricole grâce à l'irrigation qu'ils permettront durant la longue saison sèche. L'autonomie alimentaire végétale est loin d'être suffisante dans la région.

- Pour l'instant, les eaux se révèlent en fait être une calamité pour l'élevage extensif en ranchos et pour l'urbanisation en raison des inondations qu'elles occasionnent sur des dizaines de milliers de km<sup>2</sup> (2).

- Autre aspect primordial du milieu aquatique, les ressources piscicoles de ces énormes masses d'eau apparaissent considérables, bien que non encore évaluées. Un développement de la pêche et une commercialisation du poisson offriraiient des possibilités alimentaires pour tout le pays, à l'image de ce que représente déjà la viande bovine. C'est dans cette perspective, que le programme d'étude des ressources piscicoles du bassin amazonien de Bolivie a été mis en place.

Le fonctionnement hydrologique des plaines, l'écologie des zones inondées le chronogramme des épandages, sont des phénomènes de grande importance pour la région.

Cependant, malgré l'importance des ressources et du facteur "eau" qui conditionnent toute action, l'hydrologie et l'écologie des eaux sont pratiquement inconnues. Il n'existe pas de réseaux hydrométriques de base dans la plaine, ni de synthèse climatologique et hydrologique à l'échelle du bassin. Le système des inondations est mal connu et non maîtrisé.

#### 1.4. L'aspect international

A l'échelle de l'ensemble du Bassin de l'Amazone, il est également à souligner d'autres motivations pour un programme hydrologique.

Au-delà des frontières boliviennes, le milieu atmosphérique et aquatique est l'aspect scientifique qui lie le plus les pays de ce Bassin. Il est également l'espoir d'un développement des échanges frontaliers. Ceci s'explique par la nécessité pour chacun d'eux d'une connaissance globale de la Région à des fins d'une

---

(2) L'année 1982 a été marquée par des inondations fortes qui auraient été supérieures à celles qui avaient dévasté la région en 1942.

meilleure compréhension de leurs propres ressources et d'une plus grande coopération économique. Ainsi sont concernés la Bolivie, le Pérou, l'Equateur, la Colombie, le Venezuela, le Brésil et les Guyanes, ces dernières étant parties intégrantes de la Région mais non du Bassin.

L'OMM a constitué une "Commission du Bassin Amazonien" pour tenter de susciter et de coordonner des actions hydrologiques (sens large), de même que l'AIEA tente, essentiellement depuis le Brésil, d'organiser des opérations à base d'études isotopiques.

En fait, les études d'hydrologie amazonienne dans les pays andins sont très peu développées ou quasi inexistantes. Il ressort pourtant que l'effort initial pour débiter de telles études devra être produit par chaque pays du Bassin, en espérant par la suite des travaux à l'échelle de tout le Bassin par une coopération internationale et latino-américaine.

Il est donc inéluctable, compte tenu de l'intérêt extrêmement marqué et croissant suscité par l'Amazonie, que les études hydrologiques de cette Région s'intensifient dans les années à venir.\*

Sur le plan scientifique, il faut préciser que les grands fleuves boliviens convergent au nord pour former le Rio Madeira, après y avoir drainé un bassin de 900 000 km<sup>2</sup>, dont 700 000 km<sup>2</sup> en Bolivie. Cette superficie représente 60% de celle du bassin du Rio Madeira et environ 15% de celle du bassin de l'Amazone. Si l'on se base sur les superficies respectives des bassins, l'apport total du bassin en cause représenterait ainsi approximativement 15% de l'apport de l'Amazone et approximativement 2% de l'apport de tous les fleuves du monde à la mer. Ces ordres de grandeur montrent l'importance relative de ce bassin tant à l'échelle régionale que mondiale, et l'intérêt de les préciser ainsi que de caractériser les régimes des apports.

La physico-chimie des eaux du bassin est également inconnue. Il conviendrait de caractériser les variations temporelles et spatiales des teneurs en éléments dissous et en suspension de ces grands fleuves, depuis les Andes jusqu'à la forêt, en regard de leurs régimes hydrologiques et des pluies. D'autre part nous exposerons aux § 8 et 9 la contribution attendue de l'hydrochimie pour l'étude hydrométrique.

L'apport relatif à l'échelle régionale et mondiale, en éléments dissous peut être estimé en première approximation du même ordre de grandeur que celui des apports liquides, donc de grande importance.

En ce qui concerne le Madeira, il est envisageable, dans un deuxième temps, une étude concertée de tout le bassin avec les Brésiliens qui possèdent une station hydrométrique, au moins à Porto Velho.

---

\* Il faut mentionner qu'un projet hydrobiologique ORSTOM doit étudier le bassin amazonien au Pérou et que le programme comporte une étude écologique. Ceci étendra considérablement la superficie étudiée par l'ORSTOM dans l'ensemble du Bassin de l'Amazone.



### 1.5. La position de l'ORSTOM et de sa Section d'Hydrologie

Dans ce contexte, l'ORSTOM peut agir efficacement et se placer en bonne position. Son implantation dans tous les pays concernés lui offre des facilités pour mener éventuellement ces études. Il conviendrait de définir les grands axes pluridisciplinaires et harmoniser les actions des différentes missions.

En ce qui concerne l'étude des climats et des eaux, la Section d'Hydrologie a la possibilité de gérer des programmes répondant aux orientations précédemment exposées.

En Bolivie, les études hydrologiques pourraient être débutées selon un programme répondant aux orientations précédemment exposées, dans des conditions relativement favorables et avec des méthodes et moyens qui sont précisés dans les paragraphes suivants.

Dans ses grandes lignes, l'étude telle qu'elle a été conçue, avec le Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología sous forme d'un projet de convention porte sur l'étude du climat, de l'hydrologie, de l'hydrochimie et des transports solides des grands fleuves du bassin amazonien en Bolivie.

Le programme prévoit en fait une partie opérationnelle limitée, avec l'implantation ou l'amélioration du réseau pluviométrique et hydrométrique (11 à 13 stations), permettant l'obtention de premières données sur les ressources (quantités et qualités) et sur les régimes hydriques et physico-chimiques.

D'autre part, le programme comporte l'exploitation et la synthèse des données obtenues mais aussi des résultats déjà existants dans l'ensemble du bassin, essentiellement dans la zone andine.

Bien entendu, l'importance relative de chacun de ces volets pourrait et devrait être modulée dans le temps et l'espace.

L'étude climatique intéresse également les Géologues ORSTOM qui souhaiteraient étudier les circulations atmosphériques de l'hémisphère sud dans le cadre des extrapolations aux climats holocènes.

L'étude des inondations pourrait être entreprise par télédétection. Il est important de noter à ce sujet que le ciel est souvent totalement dégagé à l'époque où se produisent ces inondations, et la couverture nuageuse ne devrait pas gêner l'examen des images satellites.

Pour ce programme hydrologique, une liaison et harmonisation étroites seraient faites avec le programme actuellement en cours de démarrage à Trinidad

sur les ressources piscicoles du même bassin. Les résultats hydrologiques et physico-chimiques, qui font actuellement défaut, sont attendus des Ichtyologues (lettre du 4-4-82 du CT d'Hydrobiologie au CT d'Hydrologie). Ainsi serait conçue une étude portant sur les traits les plus importants du milieu aquatique de l'Amazonie bolivienne. D'autres études écologiques pourraient le compléter ultérieurement.

## 2. ORGANISMES BOLIVIENS ET INTERNATIONAUX IMPLIQUES EN HYDROLOGIE

### 2.1. Le Service National de Météorologie et d'Hydrologie (SENAMHI)

Dans tous les pays andins existe ce type de Service. En Bolivie, il dépend du Ministère de l'Aéronautique.

Il est chargé de rassembler toutes les données climatologiques et hydrologiques recueillies par les différents organismes nationaux intéressés en ce domaine. Parallèlement, il a la charge du réseau climatologique et hydrométrique national mais n'en gère en fait qu'une partie, certaines infrastructures étant implantées et gérées par d'autres organismes pour des besoins spécifiques.

Le Service est placé sous la responsabilité d'un Directeur, d'un Sous-Directeur et de deux Chefs de Département (Climatologie et Hydrologie). Des délégations existent à Cochabamba et Santa Cruz et des agents sont détachés auprès de certaines Sociétés de développement (Trinidad).

Le Service de La Paz compte de l'ordre de 40 employés, celui de Cochabamba 20, celui de Santa Cruz 5 (chiffres donnés sous réserves).

Le SENAMHI représente la Bolivie auprès de l'OMM.

### 2.2. Le Service Hydrographique Naval (SHN)

Il dépend de la Marine Nationale. La Bolivie ne possédant pas de mer, l'activité de ce Service se porte sur le lac Titicaca et sur les grands fleuves amazoniens. Il est essentiellement axé sur la navigation fluviale, c'est-à-dire l'hydrographie et les hauteurs d'eau. Il possède ainsi quelques échelles de hauteurs d'eau sur les grands fleuves. Ce Service présente cependant l'intérêt d'être représenté à Trinidad où il a des bureaux. Le contrôle de la navigation est à la charge des militaires de la Naval. Il s'effectue depuis des postes de contrôle ("capitanía"), généralement installés dans les ports importants et à proximité des confluent. Des observateurs et préleveurs potentiels, que l'on peut espérer sérieux, sont donc à priori disponibles sous réserve d'accord avec la Naval, par l'intermédiaire ou non du SHN. En fait les liens avec le SHN et les "capitanías" ne sont pas directes.

### 2.3. L'Entreprise Nationale de Développement Electrique (ENDE)

C'est "EDF" bolivien. Son activité hydrologique est centrée sur les sites ou régions à potentiel hydroélectrique. Son bureau Technique est à Cochabamba. Cet organisme installe et observe lui-même ses propres stations dont il confie ensuite éventuellement la gestion au SENAMHI.

### 2.4. L'Institut d'Hydraulique et d'Hydrologie (IHE de l'UMSA)

Une convention avec l'Allemagne est à l'origine de cet Institut qui est en réalité spécialisé dans les modèles réduits d'hydrauliques appliqués à des projets de barrage plutôt qu'en l'hydrologie régionale. L'Institut fonctionne surtout grâce à des conventions, l'UMSA ayant peu ou pas de crédits propres. Les locaux indépendants, situés à Cota-Cota, sont vastes. L'effectif bolivien est de l'ordre d'une dizaine d'agents.

### 2.5. Les Sociétés Régionales de Développement

Il en existe une par département. Elles ont à charge des projets d'hydrauliques urbaines et rurales, et à ce titre possède un réseau local très spécifique. Par exemple, à Trinidad, la ville est entourée d'une digue pour éviter l'inondation annuelle. Un réseau d'échelle intérieur et extérieur permet de surveiller l'évolution de la montée des eaux. Bien entendu, ces Sociétés Nationales sont intéressées par l'étude générale du système hydrologique, notamment CORDEBENI (Trinidad) qui a à charge toutes les régions inondées du bassin du Mamoré.

### 2.6. Commission Bolivienne d'Energie Nucléaire (COBOEN-AIEA)

L'application des isotopes aux études hydrologiques amène cet organisme à s'intéresser au bassin amazonien. Un projet PNUD/PNUE, sous l'égide de l'AIEA, a été élaboré pour l'évaluation des conséquences écologiques et climatologiques de la déforestation et des changements d'utilisation des terres dans le Bassin Amazonien pour un développement optimal. Il regroupe tous les pays amazoniens, sauf la Guyane Française. Le financement serait de 6,3 millions de dollars.

Les études se feraient essentiellement grâce à l'utilisation des isotopes, c'est pourquoi COBOEN coordonnerait la participation nationale auprès de l'AIEA. Cependant les analyses et la centralisation des résultats seraient faites au Centre de Energía Nuclear na Agricultura (CENA), Piracicaba, Sao Paulo, dépendant de la Comissão Nacional de Energía Nuclear, et les études centralisées à l'Instituto Nacional de Pesquisa da Amazonia (INPA), dépendant du CNPQ.

## 3. LES CARTES ET IMAGES SATELLITES

Il existe des cartes topographiques à petites échelles (4; 1,5; 1 millio-

niennes) de l'ensemble de la Bolivie et des cartes à plus grandes échelles (1/200 000 à 1/50 000) de certaines régions andines. Ces fonds topographiques et hydrographiques seront suffisants compte tenu de l'échelle de travail.

Des images satellites existent bien entendu pour tout le bassin et des assemblages de ces images constituent des documents de grand intérêt : Photomosaïque Landsat de l'ensemble de la Bolivie au 1/2 000 000, département de La Paz au 1/500 000.

Par ailleurs sont disponibles des cartes "écologique" et géologique de Bolivie au 1/1 000 000.

#### 4. CAMPAGNES DE RECONNAISSANCE SUR LE TERRAIN

Décembre 1980. Un survol du bassin du Haut Béni (Rios La Paz et Catacayes) est effectué selon le trajet La Paz-Cochabamba. Une visite des plaines des vallées de Cochabamba est réalisée avec les Pédologues de la Mission. Visite du lac Angostura (irrigation) et des Rios Tapacaris et Rocha. Visite de l'Université de Cochabamba (UMSS) et de son ordinateur mis à la disposition totale des Pédologues. Visite du laboratoire d'analyses de sols et d'eaux.

Visite à la Société Régionale de Développement de Cochabamba (CORDECO). Le Directeur propose à l'ORSTOM un projet d'accord pour l'étude de la qualité physico-chimique des eaux d'irrigation des vallées semi-arides de la région. Ce projet sera refusé par l'ORSTOM.

Le trajet La Paz-Cochabamba sera effectué par la suite fréquemment au cours de 1981 et 1982 en voiture et en avion, lors de visites à l'antenne ORSTOM de Cochabamba.

Février 1981. Une visite de la vallée du Rio Boopi (Yungas), haut affluent du Béni est réalisée en voiture, depuis l'altitude de 4.900 m jusqu'à 1.300

Juin 1981. Un survol du Haut Béni (bassin du Béni), du Maniqui, de l'Apéré, du Tijamuchi, du Mamoré et de l'Ibare (bassin du Mamoré) est effectué selon le trajet La Paz-Trinidad. Une visite de l'Ibare à Puerto Almacen est réalisée.

Visite de l'Université Technique du Béni (UTB) et de la Société Régionale de Développement du Béni (CORDEBENI). La convention pour l'étude des ressources piscicoles est signée avec le Recteur de l'UTB et le Directeur de CORDEBENI.

Juillet 1981. Une visite en voiture est effectuée dans la vallée du Zongo, haut affluent du Rio Béni, des glaciers situés à 5.300 m à la forêt tropicale 1.100 m (40 km).

Janvier 1982. Un survol du bassin des hauts Rio Mamoré et Grande est effectué sur le trajet La Paz-Santa Cruz de la Sierra.  
Visite à la section du SENAMHI de Santa Cruz. Un prélèvement d'eau est réalisé dans le Piray.

Visite du Service Hydrographique de la Naval (SHN) à La Paz. Entretien avec le Directeur et les Hydrologues du Service. Exposé des activités de l'ORSTOM.

Un survol de la plaine du Mamoré est effectué alors que débutent les inondations. La zone de Trinidad est parcourue en compagnie des Ichtyologues en poste dans cette ville.  
Plusieurs visites ont lieu à l'Université et à CORDEBENI où des entretiens ont lieu avec les Recteur et Directeur respectifs. Le système de protection de ville contre l'inondation annuelle est visité (digues et pompes des eaux internes).  
Une visite en pirogue à moteur est réalisée dans les plaines d'inondation, sur l'Ibaré et à la station hydrométrique de Puerto Ganadero sur le Mamoré. Le lecteur de cette station n'est pas là; la borne est enterrée sous les sédiments de la crue précédente mais les gens du village savent exactement où elle est située. L'échelle, du Service Hydrographique de la Naval, est correctement implantée.  
Une visite à moto et en pirogue est effectuée sur l'Ibaré à Loma Suarez où le Service Hydrographique a implanté un limnigraphe près de l'Ecole de la Naval. Rencontre du Capitaine responsable des observations.  
Un pluviomètre totalisateur mensuel prêté par le SENAMHI, est mis en place sur le campus de l'Université, au bon soin des Ichtyologues de l'ORSTOM.  
Visite de la Section du Service Hydrographique qui me communique copie des hauteurs d'eau de quelques stations. La volonté de coopération entre le SENAMHI et le SHN est réitérée.  
Ces différentes visites sont réalisées en compagnie du délégué du SENAMHI auprès de CORDEBENI.

Février 1982. Suite à plusieurs entretiens qui ont eu lieu en 1981 avec le Directeur du SENAMHI et les Chefs des Départements de Météorologie et d'Hydrologie de ce Service, un projet d'accord pour l'étude du Bassin Amazonien de Bolivie est mis au point, et proposé au Siège et au BCH de l'ORSTOM.

Avri - mai 1982. Une mission sur les Rios Beni, Mamoré et Madeira est réalisée avec l'Ing. Nestor Abasto, Chef du Département d'Hydrologie du SENAMHI. Au cours de cette mission de quatre semaines est transporté à Trinidad du matériel hydrométrique (échelles, 5 limnigraphes, 1 moulinet, 1 préleveur d'échantillon et un moteur HB 55 CV). D'autre part, des mesures

physico-chimiques sont effectuées tandis que 90 échantillons d'eau sont prélevés sur le Rio Itenez et sur l'ensemble des bassins du Beni et du Mamoré, depuis les Andes jusqu'au Rio Madeira.

Le trajet La Paz-Cochabamba-Puerto Villaroel est effectué en voiture. Un bateau-cargo est pris de ce port jusqu'à Trinidad, puis l'avion (Focker utilisé jusqu'à Riberalta-Guayaramerin. Dans cette zone les déplacements se font à moto, en camion et en pirogue à moteur de location. Le retour à La Paz est effectué en avion, via Trinidad (Boeing 727).

Au cours de cette mission de reconnaissance du réseau hydrographique et hydrométrique, sont effectuées les activités suivantes :

- Cochabamba (600.000 habitants)

- Visite de la section du SENAMHI de Cochabamba (20 Agents). Réunion avec le Directeur local et son adjoint. La section gère une dizaine de stations hydrométriques et des postes climatologiques. Un moteur hors-bord de 55 CV est remis à M. Abasto pour les activités hydrologiques en Amazonie. La section se charge de réaliser pour nous quelques prélèvements d'eau en des stations du bassin andin du Rio Grande.
- Entretien avec M. le Recteur de l'UMSS. Visite du Laboratoire d'analyses d'eau et de sols de l'UMSS.
- Visite du lac de retenue de Misicuni.

- Puerto Villaroel

- Puerto Villaroel est le port qui relie par le Fleuve Mamoré, la Paz, Cochabamba et Santa Cruz à Trinidad et Guayaramerin. Une route goudronnée relie Cochabamba à ce port. Une centaine de grandes barges et une trentaine des "pousseurs" à moteur y étaient ancrés.
- Visite de la Capitanía de Puerto Villaroel (Contrôle de la Navigation) et de la station climatologique qui en dépend. Celle-ci est bien située mais abandonnée. L'échelle limnimétrique a existé mais a été détruite par les bateaux.
- Trajet en cargo de Puerto Villaroel à Trinidad :
  - . Essai de la radio de l'ORSTOM avec La Paz. L'appareil marche parfaitement à condition d'avoir une bonne batterie.
  - . Le commandant du bateau accepte de rentrer dans l'embouchure de tous les affluents pour que nous puissions effectuer des prélèvements et se charge d'échantillonner en notre absence au confluent de l'Itenez et du Mamoré. Nous le retrouverons à Guayaramerin.

- Trinidad (35.000 habitants)

- Visite de la Section de l'Antenne ORSTOM d'Hydrobiologie.
- Entretien avec le Recteur de l'Université.
- Réunion avec le Directeur de CORDEBENI qui nous souligne son intérêt.

pour la connaissance hydrologique du Beni, en raison des dommages que crée régulièrement la crue annuelle. Les "gros" éleveurs (Ganaderos) seraient très intéressés et pourraient éventuellement participer à un financement par l'intermédiaire du Banco Ganadero, notamment par l'installation d'une station d'alerte en aval de la confluence des Rio Ichilo, Chaparé et Grande, d'où proviendraient les crues. Ils seraient aussi intéressés par une meilleure compréhension du phénomène d'inondation. Selon le Directeur, il conviendrait d'organiser une réunion de motivation. Celui-ci nous réitère l'appui de CORDEBENI pour toute action hydrologique dans le département du Beni.

- Entretien avec le délégué SENAMHI en poste auprès de CORDEBENI. Celui-ci se chargera de prélèvements périodiques dans l'Ibaré.
  - Visite de la station hydrométrique du Mamoré (Puerto Ganadero). Le lecteur est présent, son cahier est bien tenu et les observations paraissent correctes. Cet observateur du SHN accepte d'effectuer un échantillonnage périodique du Mamoré et bénéficiera d'une indemnité du SENAMHI. Des flacons lui sont laissés et seront par la suite remis à l'ORSTOM.
  - Entretien avec le Recteur de l'Université (UTB).
  - Entretien avec le Chef du Laboratoire de l'UTB qui met à notre disposition ses appareils et installations pour nous permettre d'achever certaines mesures. Le nouveau laboratoire en cours d'achèvement couvre 1.300 m<sup>2</sup> et compte environ pour un million de dollars d'appareils neufs non encore mis en service (!).
  - Visite de la section locale du Service Hydrographique de la Naval. Le Chef de section nous expose l'activité du Service dans la région.
  - Visite de la plaine d'inondation et d'un lac situés entre Trinidad et l'Ibaré.
- Riberalta (20.000 habitants)
- Il y existe une section de CORDEBENI et une Capitanía (contrôle de la Navigation). Riberalta est le dernier port du Beni, interrompu en aval à la navigation par les rapides de Cachuela Esperanza. Les transports s'effectuent par cargo depuis Puerto Linares, situé sur le Haut Beni et relié à La Paz par la route vertigineuse des Yungas.
- Guayaramerin (15.000 habitants)
- Visite à la Capitanía. Il existe une échelle limnimétrique au droit même des locaux de ce Service. Le Responsable accepte d'effectuer un prélèvement d'eau hebdomadaire.
  - Visite à Guajaramerin, vis-à-vis brésilien de la ville bolivienne. La police d'immigration refuse que nous allions à Ribeirão, le long du Madeira en empruntant les transports communs, mon collègue bolivien

n'ayant pas de passeport. Il apparaît donc que des autorisations établies au niveau du Consulat seraient nécessaires pour travailler en zone frontalière.

- Cachuela Esperanza (300 habitants)

- C'est le centre industriel de la région, progressivement déserté après la mort de son fondateur (Nicolas Suarez), roi du Caoutchouc et de la noix en Bolivie. De nombreux locaux, dont une villa splendide, sont à l'abandon. Le petit train à vapeur qui permettait le transport des marchandises est envahi par les herbes...
- Cachuela Esperanza est le site potentiel d'un barrage hydroélectrique et donc la station hydrométrique désignée où transitent les eaux du Beni, du Madre de Dios et de l'Orthon.
- Visite de la Capitanía qui lit l'échelle limnimétrique installée par ENDE.
- Une pirogue à moteur est louée pour rejoindre le confluent du Mamoré et le Rio Madeira.  
Visite de la Capitanía de Villa Bella. Installée juste à la pointe du confluent, elle ne compte que quelques appelés. Le village est abandonné, seules subsistent deux familles, depuis la décadence économique du début du siècle.  
Le Rio Madeira est descendu sur 4 km jusqu'en amont des premiers rapides que le piroguier ne veut pas franchir.

Retour à Guayaramerin, en camion. Retour à Trinidad en avion (Focker). Réalisation de mesure au laboratoire de Chimie de l'Université de Trinidad. Retour à La Paz en avion (727).

## 5. LES MOYENS DE TRANSPORTS

### 5.1. Voitures

Bien que les routes ne soient parfois pas très bonnes, il est possible de joindre en voiture les stations au pied des Andes. A noter qu'il existe aussi des services de bus journaliers sur tous les itinéraires.

Puerto Linares est le port du Beni permettant de relier Rurenabaque et Riberalta à La Paz. Il est accessible toute l'année. La piste très fréquentée qui emprunte les "Yungas", est bordée de précipices vertigineux et mauvaise en saison des pluies. Une dizaine d'heures sont nécessaires au voyage La Paz-Puerto Linares.

Puerto Villaroel est le port de l'Ichilo-Mamoré permettant de relier Trinidad et Guayaramerin-Riberalta à Cochabamba, Santa Cruz et La Paz. La route La Paz-Puerto Villaroel est goudronnée, sauf sur 100 km de bonne piste. Huit heures



sont nécessaires au voyage La Paz-Cochabamba et quatre heures pour le trajet Cochabamba-Puerto Villaroel.

Cochabamba est la deuxième ville et le centre industriel de Bolivie.

Santa Cruz, ville champignon en raison du pétrole et d'autres activités rentables, est la troisième ville de Bolivie. Elle est reliée par une route et une voie ferrée à Cochabamba-La Paz.

Abapo se situe à 135 km au sud de Santa Cruz. Cette station est accessible depuis cette ville par la piste et par le train.

Trinidad. Une piste relie La Paz-Trinidad via Puerto Linares et Borja, mais n'est praticable qu'en saison sèche, d'août à septembre. Le voyage est de deux à cinq jours.

Santa Ana et Puerto Siles seraient également accessibles en saison sèche.

Guayaramerin-Riberalta (60 km). Une route est praticable en toute saison entre les deux villes. Toutefois, en raison des inondations du Rio Yata, un bac est à prendre, ce qui augmente la durée du voyage.

Guayaramerin-Cachuela Esperanza (60 km). Une route est praticable en toute saison. Un bac est à prendre pour traverser le Rio Yata. Le voyage est d'environ deux heures.

## 5.2. Bateaux-cargos

Un trafic relativement important relie Puerto Villaroel à Trinidad et Guayaramerin, et Puerto Linares à Riberalta. Ce sont en fait les seuls moyens de transport, avec l'avion, du matériel lourd. Le prix du transport du matériel pour le trajet P. Villaroel-Trinidad est de 0,10F/kg, le transport d'une voiture coûte moins de 600 à 1.000 F, celui d'une personne de l'ordre de 50 F (nourriture comprise) (3).

Le transport sur le Mamoré est au mono-pôle de deux compagnies. Chaque bateau est sous la responsabilité d'un commandant. La sécurité des marchandises transportées est bien assurée.

Les embarcations sont de grandes barges en planches accouplées, par deux ou trois, à un propulseur de même type équipé d'un moteur diesel et surmonté d'un étag

---

(3) Les prix mentionnés dans ce rapport sont indicatifs en raison des fortes fluctuations du dollar et surtout du pesco.

Il a été compté à Puerto Villaroel une trentaine de pousseurs et environ soixante-dix barges. Sur le Haut Beni, certaines barges sont équipées de trois moteurs hors-bord Evinrude ou Yamaha de 55 CV.

Le voyage de Puerto Villaroel à Trinidad, en période de hautes et moyennes eaux dure quatre jours. Celui de Trinidad à Guayaramerin dure le même temps. La durée du voyage est de 12 heures de Rurenabaque à Puerto Linares et peut être évalué de 5 à 8 jours jusqu'à Riberalta, selon la saison.

Les conditions de voyage sont "folkloriques". Les mariniers sont coopératifs (le commandant a volontiers accepté de rentrer dans l'embouchure des affluents pour qu'y soit effectué un prélèvement). La nourriture, à base de banane, de viande séchée et de poissons, est supportable quelques jours. Il y a bien sûr la possibilité de faire sa cuisine.

### 5.3. Pirogues et embarcations légères à moteurs hors-bord

Si l'utilisation des cargos est bon marché, la location de pirogues ou autres coques à moteur hors-bord effectuée auprès des particuliers est d'un coût élevé.

Il fallait compter de l'ordre de 200 F (essence comprise) pour une courte journée, au moment de la mission à Trinidad et Guayaramerin. De plus il n'est pas toujours facile de trouver la personne disponible sur le moment pour assurer cette location.

Ces embarcations sont de natures très variées, pouvant être en plastique, aluminium, ou de simples troncs évidés, bordés ou non planches.

### 5.4. Avions

Les lignes commerciales pour passagers sont assurées par deux compagnies  
- Lloyd Aereo Boliviano (LAB),  
- Transporte Aereo Militar (TAM).

Des boeings 727 et 707 de la LAB relient La Paz à Cochabamba (3 vols journaliers), Santa Cruz (4 vols journaliers), Trinidad (3 vols hebdo). A cela s'ajoute sur ces itinéraires, les vols en Focker de la TAM.

Des Fockers effectuent les liaisons avec Santa Ana, Reyes, San Joaquin et pour ce qui nous intéresse plus particulièrement avec Guayaramerin et Riberalta. La fréquence des vols assurés par l'ensemble des deux compagnies est de 4 à 7 vols par semaine pour ces deux villes. De même, les vols La Paz-Rurenabaque s'effectuent deux à trois fois par semaine. En saison des pluies, les jours et heures ne peuvent être assurés, étant fonction des conditions météorologiques.

Les prix des billets, aller-retour, sont actuellement les suivants :

|                                      |         |
|--------------------------------------|---------|
| - La Paz- Cochabamba                 | : 170 F |
| - La Paz-Trinidad                    | : 240 F |
| - Trinidad-Guayaramerin ou Riberalta | : 270 F |
| - Riberalta-Guayaramerin             | : 110 F |
| - La Paz-Rurenabaque                 | : 170 F |
| - La Paz-Santa Cruz                  | : 350 F |

Le frêt aérien coûte 2.30 F/kg sur le trajet La Paz-Trinidad et autant sur Trinidad-Guayaramerin.

Un service de frêt et de courrier rapide est assuré par la LAB. D'autres petites compagnies privées assurent uniquement le frêt, en DC 3.

Les petits avions de type Cessna sont très nombreux mais leur coût de location auprès des privés est élevé, de l'ordre de 2.000 F sur le trajet Guayaramerin-Trinidad. leur utilisation n'est concevable qu'en cas d'urgence.

#### 5.5. Les télécommunications

Les télécommunications sont bien développées.

Le téléphone automatique relie La Paz, Santa Cruz, Cochabamba. De même le téléphone(radio)relie sans problème La Paz à Trinidad, Rurenabaque, Puerto Villaroel, Guayaramerin, Riberalta et certainement d'autres petites villes.

Au cours de la mission d'avril-mai 1982, le poste émetteur-récepteur de l'ORSTOM a été essayé sur le trajet Puerto Villaroel-Trinidad avec la Mission de La Paz. Il fonctionne parfaitement à condition de disposer d'une bonne batterie de voiture. Il conviendrait de savoir s'il est assez puissant pour permettre les liaisons Cuayaramerin-La Paz.

#### 6. LES LOCAUX

Le SENAMHI à La Paz a ses bureaux au centre-ville. Ces locaux sont peu spacieux et la densité du personnel est élevée.

Le SENAMHI de Cochabamba à ses bureaux, relativement spacieux, dans une villa située en quartier résidentiel.

CORDEBENI de Trinidad, qui abrite les activités du SENAMHI dans le Beni, a des bureaux acceptables et un dépôt pour le matériel.

De même CORDEBENI a une représentation à Riberalta, et peut-être à Guayaramerin mais nous ne connaissons pas les locaux. Une ou deux pièces pourraient probablement être mise à disposition du Projet hydrologique.

## 7. LES ASPECTS HYDROGRAPHIQUES, HYDROLOGIQUES, HYDROMETRIQUES DU BASSIN AMAZONIEN

### 7.1. Les grands bassins du haut-Madeira à Manoa (superficies approximatives) :

- le Rio Abuna, km<sup>2</sup> (plaine)
- Le Rio Orthon, km<sup>2</sup> (plaine)
- le Rio Madre de Dios, km<sup>2</sup> (Andes péruviennes, plaine)
- Le Rio Beni, km<sup>2</sup> (Andes boliviennes, plaine)
- Le Rio Mamoré km<sup>2</sup> (Andes boliviennes, plaine)
- Le Rio Papapeti-Izozoy (Andes, plaine, rattaché à l'Itenez mais principalement endoréique).
- Le Rio Itenez-Guaporé, km<sup>2</sup> (plaine et bouclier brésilien)
- Le Rio Yata, km<sup>2</sup> (plaine)
- Le Rio Negro-Ouro Preto, km<sup>2</sup> (bouclier brésilien)

Total du bassin du haut-Madeira : km<sup>2</sup> dont km<sup>2</sup> en Bolivie ( %),  
km<sup>2</sup> au Pérou ( %), km<sup>2</sup> au Brésil ( %).

### 7.2. Aspects des fleuves

La largeur des fleuves dans les zones où l'on serait susceptible de travailler varie de 200 m en amont à 1000 m. La largeur du Madeira à Villa Bella est de l'ordre de 1500 m (largeurs approximatives).

Les profondeurs sont très variables selon les sites. A Trinidad, où la section est de forme triangulaire, la profondeur maximale peut atteindre 30 m en hautes eaux pour une largeur de l'ordre de 700 m.

Des méandres très accentués et serrés évoluent progressivement avec le temps. Les rives sont très instables et s'effondrent régulièrement. Les échelles devront être visitées au moins deux fois par an. L'installation des limnigraphes serait difficile mais ne serait pas indispensable.

Des plages apparaissent sur la courbe convexe des méandres dès les moyennes eaux. Les rives sont bordées de forêt dégradées et de hauts roseaux, relayés par la forêt franche au pied des Andes et tout au nord du pays.

De nombreux troncs et branches dérivent dans le courant surtout à la montée et durant les hautes eaux et constitueront une gêne pour les jaugeages. Des hameaux jalonnent les rives, et fourniraient des lecteurs d'échelles potentiels.

### 7.3. Etat du réseau hydrométrique

- a.- Bassins d'Abuna et d'Orthon : A notre connaissance, aucun dispositif hydrométrique n'existe sur ces cours d'eau.

- b.- Bassin du Madre de Dios : Une échelle a peut-être existé épisodiquement à Puerto Heath, situé en aval de la confluence des grands formateurs du Rio Madre de Dios. Elle aurait été certainement à charge de la Capitanía. C'est un site intéressant où transite tout l'apport andin au Rio Madeira. Il n'existe pas d'échelle sur le Rio Madeira à proximité de la confluence avec le Beni.
- c.- Bassin du Beni : Les affluents du haut bassin sont les rios Mapiri, Tipuani, Challana, Zongo, Coroico qui, répartis en éventail, se réunissent quasiment au même point pour former le Rio Coca. Plus au sud les affluents sont les rios La Paz, Cotacayes, Alamachi qui confluent pour former le Rio Alto Beni. Il existe une quinzaine de stations dans ce bassin andin dont il conviendrait de connaître les résultats et leur qualité. Il est possible qu'ENDE en ait réalisé une étude globale. Le SENAMHI y observe une station de bassin dit "représentatif". Plus en aval, les stations de Nube sur le Rio Coca et de Inicua sur le Rio Alto Beni dont les débits sont mesurés depuis une vingtaine d'années à Angosto del Bala. Entre la confluence de ces deux principaux formateurs et cette station, le Rio Beni reçoit la contribution de quatre affluents : le Quendque, le Pitui, le Quiquavey et le Tuichi, ce dernier étant le plus important. La station Angosto del Bala (à 15 km en amont de Rurenabaque) est placée en un site potentiel de barrage hydroélectrique, dans une gorge qui traverse le dernier relief notable des Andes. Installée par ENDE en 1967, elle a été par la suite confiée au SENAMHI. Un téléphérique permet des jaugeages journaliers, avec l'affection permanente d'un hydrométriste. Le moulinet gagnerait à être contrôlé de Angosto del Bala à la confluence avec le Madre de Dios, le supplément de superficie représente %. Aucune station ne paraît avoir existé à proximité de cette confluence. A noter l'importance comparable des superficies du Madre de Dios et du Beni. Les fleuves sont de dimensions similaires à leur confluence avec, semble-t-il, un léger avantage pour le Madre de Dios.
- d.- Bassin du Mamoré : Sur le Chaparé existent 5 stations, dont une particulièrement intéressante à Villa Tunari. Sur le Rio Ichilo, existent ou auraient existé, tout en amont, deux échelles dont une sur l'affluent Vibora. La station de Puerto Villaroel a fonctionné épisodiquement, de 1977 à 1980, grâce à la Naval. Elle n'existait plus en avril 1982, l'échelle ayant été détruite par les bateaux. C'est une station intéressante mais qui sera difficile à maintenir en raison du trafic des bateaux. Il y aurait peut-être intérêt à la déplacer en un site plus représentatif, en aval de la confluence du rio Choro où se rencontre les derniers hameaux de plantation de bananes.
- Sur le Rio Grande. Il a existé pendant des durées variables, mais ne dépassant pas quelques années, une dizaine de stations équipées d'échelles limnimétriques. Certaines peuvent encore être en fonction.

Il semble cependant être en place au moins quatre bonnes stations, qui seraient à contrôler :

- Dans les Andes, la station de Puente Arce fonctionne depuis 1945 et son étalonnage a été réalisé.
- Abapo, sur le Rio Grande, est équipé d'un téléphérique et d'un limnigraphe qui serait actuellement en panne, mais l'échelle est lue. La station fonctionne depuis 1945.
- Puerto Pailas, sur le Rio Grande, est équipé d'une échelle.
- A Santa Cruz, sur le Rio Piray, existe une échelle limnimétrique.
- A Yacapari, sur le Rio Choro, une échelle équipe la station.

Sur le Mamoré. La première échelle est à Camacio en aval du confluent avec le Securé. Elle a été installée en 1980 par le Service Hydrographique de la Naval Plus en aval, la station suivante est celle de Puerto Ganadero (Trinidad). Une échelle du SHN est lue deux fois par jour par un lecteur habitant sur le bord de la rive. Les contrôles que nous avons effectués montrent le sérieux du lecteur. L'échelle a été modifiée plusieurs fois par le SHN et les lectures demandent à être recalées. La borne est située au coin de la case la plus proche mais se trouvait ensevelie sous les sédiments de la dernière crue.

Sur l'Ibare, affluent situé entre le Mamoré et Trinidad, existent deux stations. L'une à Puerto Almacen (7 km de Trinidad), équipée d'une échelle, ne semble pas fonctionner actuellement. L'autre à Loma Suarez (8 km de Trinidad), équipée d'un limnigraphe fonctionne correctement. Ces deux stations dépendent du SHN. Ces stations paraissent être sous l'influence du Mamoré la plus grande partie de l'année.

Il doit exister à Santa Ana une échelle permettant le contrôle des niveaux d'eau pour la prévention contre les inondations.

Après la zone de Trinidad, l'échelle suivante se rencontre à Guayaramerin. Elle a été lue épisodiquement depuis 1976, avec de très grandes lacunes. Elle dépend de la Capitanía du port et a été installée par le SHN.

e.- Bassin de l'Itenez : Aucune échelle ne semble exister.

f.- Rio Madeira : Aucune échelle n'a été implantée du côté bolivien. Au Brésil, beaucoup plus en aval, une échelle existe depuis de nombreuses années à Porto Velho. Les résultats de hauteur d'eau seraient en possession du Service des Mines (?) brésilien.

## 8. HYDROCHIMIE ET MARQUAGE NATUREL

Une première reconnaissance hydrochimique a été réalisée au cours de la mission d'avril-mai 1982. Au total, 90 échantillons ont été prélevés pour analyses des éléments majeurs tandis que des mesures de température de l'eau, de la conductivité, du pH et de l'alcalinité ont été effectuées.

Ces prélèvements ont été faits sur le Mamoré et le Beni, depuis les Andes, des glaciers ((5300 m), jusqu'au Rio Madeira, et à la confluence d'autres fleuves importants : l'Itenez-Guaporé, le Madre de Dios, l'Orthon.

Pour cette campagne d'échantillonnage nous avons pu bénéficier de la participation de Chercheurs ORSTOM pour le bassin du Haut-Béni et des Sections du SENAMHI de Cochabamba et de Santa Cruz pour certains points du Rio Grande.

D'après les observations faites sur le terrain, on retrouve les trois types d'eau déjà signalés en Amazonie brésilienne par H. SIOLI (1975). Les eaux turbides des Andes, qui constituent un apport important, sont relativement salées. Elles sont diluées dans la plaine, d'amont en aval, par les apports progressifs des affluents dont les eaux claires et très douces sont colorées en noir ou brun-rouge par les acides humiques. Les eaux cristallines, vertes et de salure intermédiaires aux précédentes, correspondent au troisième type, et semble-t-il, à celles de l'Itenez-Guaporé

La différence de salure des eaux de deux fleuves semblerait ainsi pouvoir offrir en certains cas une méthode de marquage naturel permettant une évaluation des débits relatifs à leur confluence. Si de plus, un des trois débits absolus est connus les débits absolus des deux autres peuvent être évalués. En effet,  $Q$ ,  $Q_1$ ,  $Q_2$  et  $C$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  étant respectivement les débits et concentrations du cours résultant et des deux affluents, on a  $Q = Q_1 + Q_2$ ,  $QC = Q_1C_1 + Q_2C_2$  et  $Q_1(\%) = 100 (C - C_2) / (C_1 - C_2)$ .

L'intérêt de pouvoir utiliser cette méthodologie est très grand, compte tenu de la difficulté que posera toujours dans cette Région l'étalonnage d'un trop grand nombre de stations hydrométriques. Elle a également l'avantage de permettre l'estimation d'un débit à proximité de la confluence lorsque celle-ci est sous influence de l'autre affluent, à condition de s'assurer qu'il n'y a pas mélange d'eau avec celui-ci.

Sur le plan théorique, il ressort que c'est la différence entre les concentrations de deux affluents qui détermine la précision de l'évaluation. Pour pouvoir utiliser cette méthode toute l'année, il convient donc de s'assurer que cette différence est suffisamment grande au cours du cycle annuel. C'est pourquoi le SENAMHI, très intéressé par les possibilités d'utilisation de cette méthode, a décidé à la suite des premiers résultats obtenus lors de la mission, de mettre en place un certain nombre de stations de prélèvements périodiques. Le conseil de l'ORSTOM pour l'organisation de cet échantillonnage et des mesures physico-chimiques à réaliser a été demandé.

Bien entendu, selon les périodes, le choix de l'élément peut changer de façon à bénéficier du plus grand écart des teneurs. D'autre part, il apparaît nécessaire de réaliser conjointement l'analyse de 2 ou 3 caractéristiques différentes pour un contrôle de résultats. Ces caractéristiques seront choisies sur la base des

résultats d'analyses des eaux échantillonnées en avril-mai 1982, lesquels ne sont pas disponibles à cette date. D'autre part, il conviendra de sélectionner les éléments traceurs en fonction des méthodes et possibilités d'analyses.

On peut aussi envisager, si cela s'avérait réellement nécessaire, de compléter ce marquage naturel salin par un marquage isotopique ( $^{18}O$ ) pour des époques de l'année où les concentrations en solution seraient identiques et les compositions isotopiques suffisamment différentes.

## 9. PROGRAMMES HYDROMETRIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES OPERATIONNELS

L'échelle de travail est définie au départ comme étant l'ensemble du bassin du Rio Madeira à Manoa. Ce village marque l'endroit où le Rio Madeira est déjà constitué, après la confluence en éventail des grands formateurs : Madre de Dios, Beni, Mamoré, Itenez-Guaporé. D'autre part, Manoa est le dernier poste bolivien avant la frontière brésilienne.

Une fois cette échelle de travail établie, plusieurs opérations individuelles, liées entre elles, peuvent être définies pour concourir à la connaissance climatique et hydrologique du bassin. Ces opérations constituent l'armature de l'étude générale. Leur individualisation permettra un échelonnement des travaux dans le temps, tout en correspondant à une répartition naturelle des actions sur le terrain

Cinq opérations pourraient être distinguées :

- Climatologie-pluviométrie.
- Apport des Andes.
- Formateurs du Madeira.
- Inondations du Mamoré.
- Physico-chimie et transports solides des fleuves.

### 9.1. Climatologie et pluviométrie

Il conviendrait de caractériser l'évolution des paramètres climatiques dans le bassin en rassemblant les données des principales stations et en réalisant leur synthèse. Ces paramètres pourraient être les températures, l'humidité, la pression atmosphérique, les vents, l'évaporation et les précipitations. En particulier, les distributions et les variations spatiales et temporelles (journalières, mensuelles, annuelles) seraient déterminées.

Les Géologues étant intéressés par l'étude de la dynamique des climats, notamment par les circulations atmosphériques à l'échelle de l'hémisphère sud (extrapolation à l'Holocène), une participation de leur part serait souhaitable pour cette opération. Ceci permettrait en outre, s'il était estimé nécessaire, d'étendre l'étude à des zones boliviennes voisines du bassin.

L'activité de terrain consisterait à assurer la dynamique et les conseils d'une remise en état d'un réseau minimum de stations climatologiques et pluviométriques.



triques. Un contrôle de ces stations, déjà existantes, serait fait lors de visite sur le terrain.

Le réseau minimum comprendrait : Santa Cruz, Puerto Villaroel, Trinidad, Santa Ana, Guayaramerin, Riberalta, Rurenabaque, La Paz, Cochabamba, Sucre.

Le réseau pluviométrique serait amplifié par la pose de totalisateurs en des postes où l'on pourrait être assuré de lectures mensuelles correctes et durables

## 9.2. Apports des Andes

Les apports des Andes, caractérisés au pied des derniers contreforts, ou à proximité dans la plaine, pourraient être évalués pour le Beni et le Mamoré.

Sur le Beni, la station d'Angosto del Bala, qui paraît fonctionner correctement, est le site idéal à la sortie des Andes. Les stations de Nube sur le Coca et d'Inicua sur l'Alto Beni, actuellement en fonction, permettraient de connaître la part des deux formateurs andins du Beni. Ces stations ne devraient demander qu'un travail de terrain limité (voir paragr. 7.3.).

Sur le Mamoré, les trois affluents les plus importants pourraient être pris en considération :

- Le Rio Grande à Abapo (voir paragr. 7.3.).
- Le Rio Chapare à Villa Tunari (voir paragr. 7.3.).
- Le Rio Ichilo à Puerto Villaroel, ou en aval de la confluence avec le Chimoré.

Les deux premières stations existent, la troisième serait à réinstaller.

Sur le Madre de Dios, Puerto Heath, situé à la frontière péruvienne, serait la station à choisir mais les conditions de transport sont telles qu'il ne semble pas réaliste de l'installer et de l'entretenir, du moins au début des opérations.

Bien entendu, les autres stations des Andes déjà existantes devraient être contrôlées et leurs données exploitées dans la mesure du possible.

Cette opération débiterait dès la convention signée. Les travaux sur le terrain concerneraient essentiellement la station de Puerto Villaroel.

L'étude des caractéristiques physico-chimiques pourrait contribuer dans certains sites aux évaluations hydrométriques. Ce serait peut-être le cas pour les deux formateurs (Coca, Alto Béni) du Rio Beni.

## 9.3. Apports des grands formateurs du Madeira

Sept stations sont indispensables à cette étude que l'on espère pouvoir mener par la conjugaison de l'hydrométrie et du marquage hydrochimique naturel .

A ces fins, il serait ainsi envisagé d'échantillonner quotidiennement :

- I.- 1. Le Madre de Dios à Riberalta.  
 2. Le Beni à Riberalta.  
 3. Le Mamoré à proximité de la confluence ou à Puerto Siles.  
 4. L'Itenez à proximité de la confluence.
- II.- 5. Le Beni à Cachuela Esperanza.  
 6. Le Mamoré à Guayaramerin.
- III.- 7. Le Madeira à Manoa.

Il est projeté d'étalonner la station de Cachuela Esperanza et la station de Guayaramerin. Ce qui, avec le concours du marquage hydrochimique permettrait un évaluation des débits absolus des autres stations. Connaissant les hauteurs d'eau chaque station, il serait possible de retracer indirectement une courbe d'étalonnage (approximative) de toutes les stations équipées d'échelles.

Il conviendrait donc de :

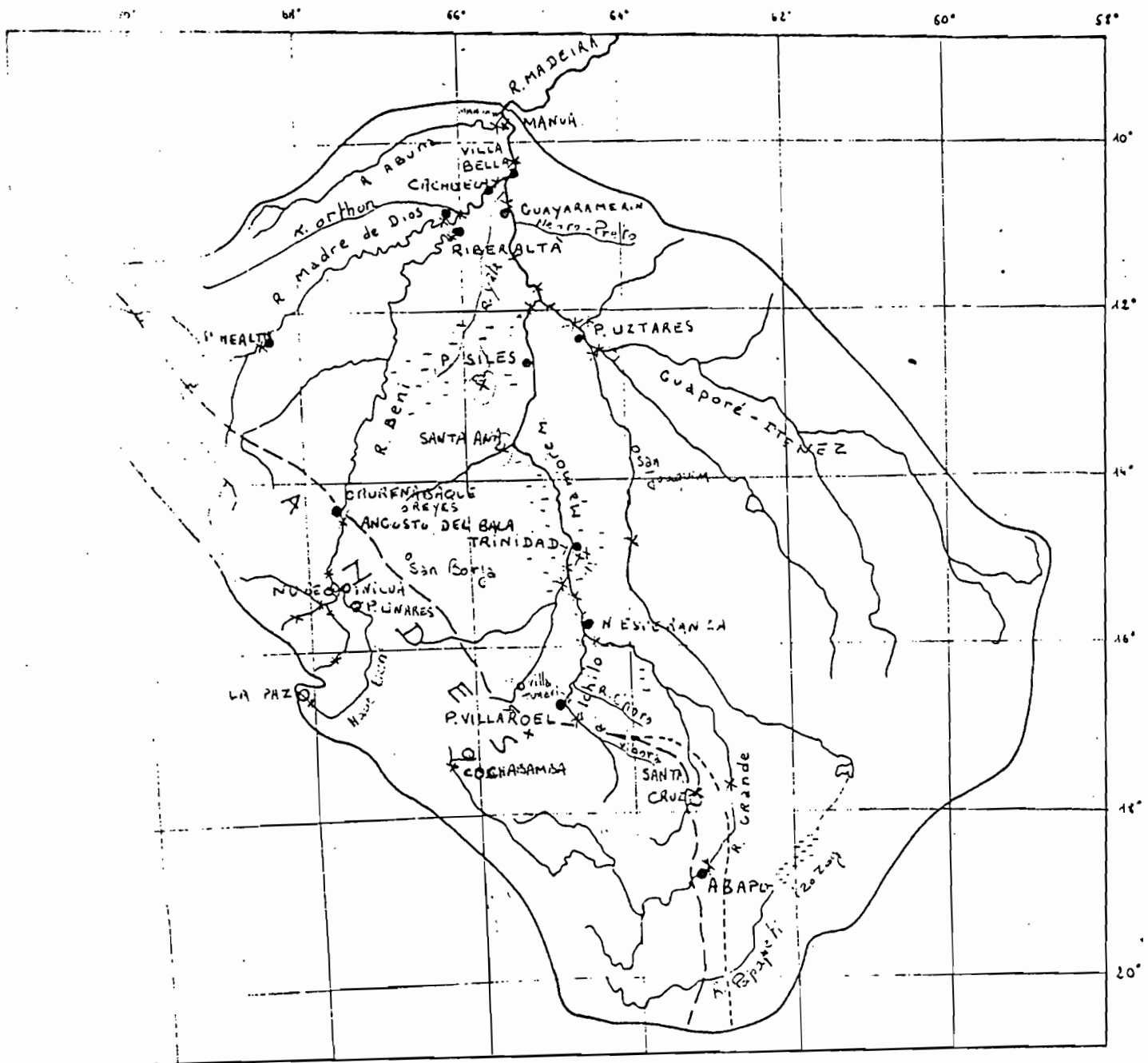
- Organiser l'échantillonnage journalier à ces stations, l'acheminement des flacons à La Paz, la mesure à La Paz des concentrations de deux éléments et de la conductivité (2.500 échantillons par an).
- Implanter des échelles aux stations non équipées. Les échelles existent et semblent correctement observées à Cachuela Esperanza et Guayaramerin. Les stations 1 à 4 sur les quatre grands formateurs, ainsi que Manoa sur le Madeira, n'existent pas. Compte tenu des faibles gradients hydrauliques, les niveaux d'un fleuve à proximité de son confluent sont sous l'influence de ceux de l'autre fleuve. Il conviendrait donc d'implanter les stations à des distances suffisantes, en amont de la confluence.
- Etalonner Cachuela Esperanza et Guayaramerin. La seconde station, de section apparemment la plus importante posera un problème technique en hautes eaux, et un problème diplomatique car elle est frontalière avec le Brésil. Si le problème technique était un obstacle, il faudrait se replier sur l'Itenez ou le Mamoré pour y jager.

#### 9.4. Inondations du bassin Mamoré

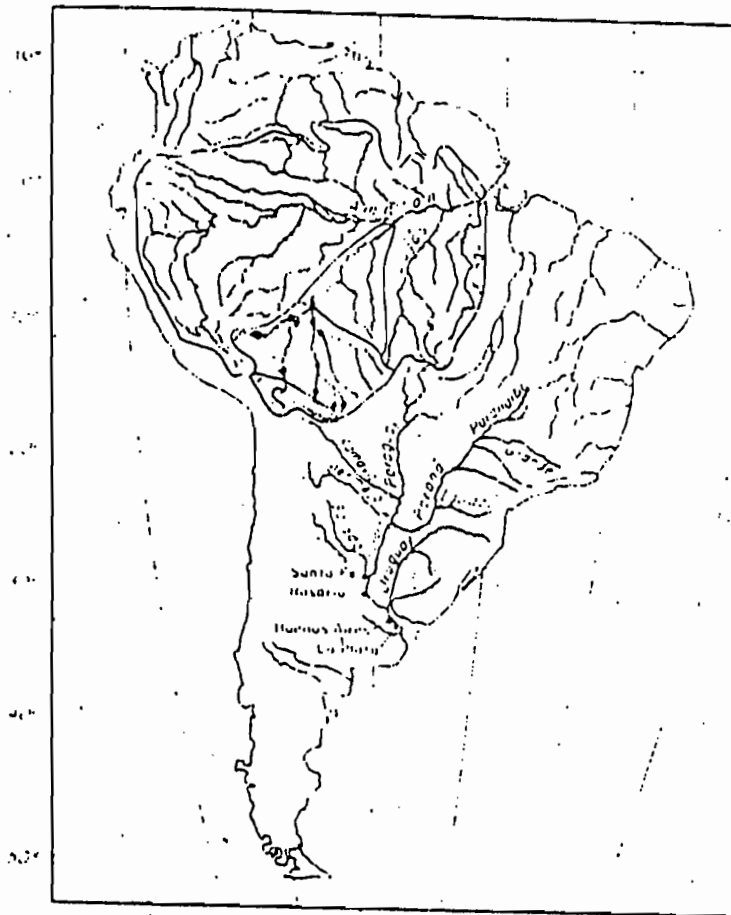
Ces inondations, souvent catastrophiques, se produisent principalement de puis la confluence des trois cours d'eau Chaparé, Ichilo, Grande, qui donnent naissance au Mamoré, jusqu'aux environs de Puerto Siles ou de la confluence avec l'Itenez-Guaporé.

En fait, il apparaît d'avion que les eaux turbides de ces trois formateurs suffisent au remplissage du lit majeur du Mamoré, ne permettant pas de surcroît l'évacuation des eaux plus claires des affluents aval, notamment ceux de rive gauche qui sont les plus nombreux. Ainsi la plaine est inondée de part et d'autre du Mamoré par ces affluents sur plusieurs dizaines de kilomètres de large, et plusieurs dizaines de km<sup>2</sup>. La différence de couleurs des eaux permet de distinguer des traînées dénotant un certain écoulement, latéral au fleuve, des eaux d'inondation.

Il semblerait donc que ces inondations soient sous la dépendance de la conjugaison des crues, d'une part, du Grande, de l'Ichilo et du Chaparé, d'autre



situation des stations hydrométriques (en noir)



Bassin de l'Amazonie et du haut Rio Madeira

part des cours d'eau affluant plus en aval, notamment en rive gauche : Secure, Rapulo, etc...

L'étude du système d'inondation pourrait ainsi porter sur deux aspects :

- l'hydrométrie avec l'aide du marquage hydrochimique,
- les zones inondées et la chronologie des inondations à l'aide de la télédétection.

Un des objectifs serait de définir un système d'alerte simple convenant aux éleveurs et aux agglomérations.

L'hydrométrie demanderait l'implantation de quelques stations limnimétriques non influencées sur les principaux formateurs. Il existe une station en aval, sur le Mamoré à Camacio. Il conviendrait donc d'implanter quatre stations (Chaparé, Secure, Ichilo, Grande). L'isolement de la zone (à une journée de hors-bord de Puerto Villaroel ou de Trinidad) est une difficulté. Les stations de Trinidad (Mamoré et Ibare) et celle de l'embouchure du Mamoré pourrait également servir à l'étude des inondations.

Le Service Hydrographique de la Naval a pour projet (à partir de 1982), l'implantation de 13 stations limnimétriques entre Puerto Villaroel et Trinidad. Les échelles seraient lues par la marine marchande lors du passage des bateaux (un bateau par jour environ emprunte l'axe Puerto Villaroel-Trinidad) et remises obligatoirement aux Capitánias des ports avec la feuille de route. L'idée est bonne mais le nombre de stations projeté semble bien élevé. D'autre part, il existe pour certains sites des hameaux où pourrait être lue une échelle une ou deux fois par jour. Un protocole d'entente devrait être établi avec le Service Hydrographique de la Naval.

Comme pour le projet des grands formateurs du Madeira, le marquage hydrochimique devrait apporter une aide précieuse. Les différences de salinités semblent accentuées entre les différents formateurs. Le Rio Grande est en particulier nettement plus salé que les autres affluents.

L'étude des inondations par télédétection devrait être l'objet d'une collaboration avec le Service de Télédétection-Hydrologie de l'ORSTOM. Un entretien préliminaire est donc nécessaire pour examiner les différents aspects d'un tel projet.

En tout état de cause, cette opération "inondations" ne commencerait pas dans les premières années de mise en marche du programme général.

#### 9.5. Physico-chimie et transports des solides

L'étude physico-chimique et des transports solides porterait sur les variations des principales caractéristiques dans l'espace et dans le temps. Elle se ferait essentiellement dans le cadre des opérations hydrométriques. Elle porterait

en effet essentiellement sur les stations où l'hydrométrie serait étudiée, d'autant plus qu'elle pourrait contribuer, par la méthode du marquage, à la connaissance des débits (voir paragraphes précédents), et également, dans une certaine mesure, à l'identification des apports.

Un réseau de prélèvements périodiques serait mis en place aux principales stations ou à proximité des confluences, d'une part pour pouvoir utiliser éventuellement le marquage hydrochimique, d'autre part pour évaluer les exportations en solution des grands bassins.

Le SENAMHI a commencé en juillet 1982 la mise en place de cet échantillonnage périodique.

Lors de grandes missions, pourrait être organisé un échantillonnage général sur de grands axes fluviaux, depuis les hauts sommets des Andes jusqu'au Rio Madeira.

En avril-mai 1982, un échantillonnage de ce type a été réalisé sur le Beni et le Mamoré jusqu'au Madeira, et à l'embouchure des rios Madre de Dios, Orthon et Itenez. Les analyses en cours devraient permettre une première caractérisation hydrochimique des eaux du bassin. De telles études "longitudinales" permettraient notamment de mieux cerner l'évolution spatiale causée par les inondations et de caractériser la physico-chimie des affluents secondaires.

L'étude des sédiments en suspension serait préliminaire, en ce sens que les échantillons seraient peu nombreux et localisés en quelques stations. Cependant elle donnerait un ordre de grandeur du transport aux stations étalonnées. Il serait possible de rationaliser les mesures de transports solides aux stations de Angosto del Bala et Abapo situées au pied des Andes, où elles sont déjà en cours depuis plusieurs années. D'autre part, il serait intéressant de mettre en place ces mesures à Cachuela Esperanza (site de barrage) et à Guayaramerin, pour évaluer l'apport au Madeira.

L'étude des compositions isotopiques pourrait contribuer à celle de la climatologie-pluviométrie (gradients altitudinaux, recyclage de la vapeur, masses d'air, origine des précipitations) et pourrait également compléter le marquage naturel à des fins hydrométriques, si à certaines époques, les concentrations en solution étaient identiques et les compositions isotopiques suffisamment différentes.

Les études physico-chimiques s'harmoniseraient avec celles qui pourraient être faites dans le cadre du Projet Piscicole (Accord UMSA, ORSTOM, UTB, CORDEBENI) et seraient menées de façon à répondre aux besoins de ce Projet.

## 10. LES MOYENS NECESSAIRES AUX DIFFERENTES OPERATIONS

### 10.1. Opération "climatologie-pluviométrie"

L'opération se ferait par une organisation depuis La Paz, en "dynamisant" notamment l'intervention des sections locales de Cochabamba, Santa Cruz et Trinidad, et par un développement des relations avec l'AASANA (Sécurité aérienne), surtout pour la transmission des données. Les visites sur le terrain se feraient essentiellement dans le cadre des opérations hydrométriques. Des pluviomètres totalisateurs seraient mis en place lors des tournées aux sites où l'on pourrait avoir des chances d'observations sérieuses.

A La Paz, un Climatologue du SENAMHI, aidé par deux Assistants, serait chargé du collationnement des données et résultats concernant le bassin, sous la responsabilité du Directeur du Projet.

Les Géologues ont fait part de leur intérêt d'étudier la dynamique des climats de l'hémisphère Sud afin d'extrapoler certains phénomènes météorologiques aux périodes holocènes et quaternaires. Cette opération "météorologie Hémisphère Sud", si elle se confirmait, pourrait être rattachée à ce programme amazonien en Bolivie. Les modalités spécifiques de liaisons et de contribution à la préparation des résultats devraient être définies.

Il faudrait compter sur un petit crédit annuel permettant d'assurer certains travaux en dehors des missions hydrométriques :

|                       |           |         |
|-----------------------|-----------|---------|
| Voyage                | : 1.000 F |         |
| Indemnités de tournée | : 1.000 F |         |
|                       | <hr/>     |         |
| Sous-total :          |           | 2.000 F |
| <br>                  |           |         |
| Carburant             | : 1.000 F |         |
| Matériel Scientifique | : 1.000 F |         |
| Frais sur le terrain  | : 1.000 F |         |
|                       | <hr/>     |         |
| Sous-total :          |           | 3.000 F |
|                       |           | <hr/>   |
| TOTAL :               |           | 5.000 F |

### 10.2. Opération "Apports des Andes"

Le contrôle des stations du Beni se ferait à partir de La Paz en avion et en voiture. Les infrastructures et matériels de jaugeage existent pour les stations qui seraient retenues.

Le contrôle des stations de Villa Tunari et Puerto Villaroel se ferait à

partir de La Paz et Cochabamba, en voiture, avec l'aide de la Section du SENAMHI de Cochabamba qui pourrait fournir éventuellement le véhicule.

Le contrôle d'Abapo se ferait à partir de Santa Cruz (avion depuis La Paz), puis avec la voiture de la Section du SENAMHI de Santa Cruz.

Ainsi, pour ne considérer que la contribution ORSTOM, une voiture disponible à la Mission, serait utilisée pour les voyages jusqu'à l'Alto Béni et éventuellement Cochabamba-Puerto Villaroel. Les voitures du SENAMHI de Cochabamba et de Santa Cruz pourraient être utilisées.

Un corps de moulinet servirait pour le contrôle de ceux qui sont utilisés à chaque station.

Deux mois de mission seraient nécessaires la première<sup>année</sup> Pour que cette opération puisse se dérouler sans trop de problèmes, les moyens financiers de l'ORSTOM devraient être les suivants :

|                              |   |          |          |
|------------------------------|---|----------|----------|
| Personnel temporaire         | : | 1.000 F  |          |
| Voyages de tournée           | : | 3.000 F  |          |
| Indemnités de tournées       | : | 15.000 F |          |
| Transport échantillons       | : | 1.000 F  |          |
|                              |   | <hr/>    |          |
| Sous total                   | : |          | 20.000 F |
|                              |   |          |          |
| Entretien matériel           | : | 1.000 F  |          |
| Carburant                    | : | 2.000 F  |          |
| Petit matériel               | : | 4.000 F  |          |
| Documentation et Photocopies | : | 5.000 F  |          |
| Matériel scientifique        | : | 4.000 F  |          |
| Frais sur le terrain         | : | 3.000 F  |          |
|                              |   | <hr/>    |          |
| Sous-total                   | : |          | 19.000 F |
|                              |   |          |          |
| TOTAL :                      |   |          | 39.000 F |

Une partie des crédits DGRST "formation" pourrait être réservée pour cette opération en recrutant un jeune hydrologue, qui travaillerait essentiellement sur cette opération.

Bolivien

### 10.3. Opération "formateurs du Madeira"

Plusieurs personnes participeraient à cette opération sur le terrain : le Directeur du projet, le Co-Directeur bolivien, le technicien ORSTOM, un assistant du SENAMHI et un jeune bolivien qui serait bénéficiaire d'une bourse dans le cadre de la subvention DGRST "formation", et qui pourrait être éventuellement de Guayaramerin.



Une affectation à Guayaramerin est bien sûr possible. Le Technicien serait à pied d'oeuvre mais serait très isolé dans cette ville du nord (15.000 habitants). Il y aurait économie de frais de déplacement mais non de voyages car le Technicien viendrait à La Paz assez fréquemment. Le matériel serait mieux entretenu. Les échantillons d'eau seraient mieux collectés aux différentes stations et certaines déterminations physico-chimiques pourraient être faites sur place.

Toutefois, il serait probablement préférable de s'orienter vers des missions d'assez longues durées, lesquelles pourraient permettre d'être là au cours des périodes importantes. *Les autres missions dans la zone ne pourraient être assurées.*

Le véhicule ORSTOM destiné au programme serait basé dans le local réservé au Projet, ou à CODEBENI, mais strictement utilisé pour le programme. Il est en effet indispensable de disposer d'un véhicule dans cette zone nord pour les déplacements et le transport du matériel.

Pour l'installation des stations limnimétriques et leur contrôle périodique, il serait nécessaire d'acquérir deux grosses pirogues, l'une sur le Beni, l'autre sur le Mamoré. Si nécessaire, il devrait être possible de les transférer d'un fleuve à l'autre malgré les sauts existant entre Guayaramerin et le confluent du Beni. Elles seraient équipées des deux moteurs 55 CV (SENAMHI) avec un moteur 40 CV de secours (ORSTOM). Le zodiac de la Mission pourrait être éventuellement utilisé.

Il n'est toutefois pas certain que ces embarcations suffisent pour les jaugeages des hautes eaux, notamment sur le Mamoré à Guayaramerin. Il faudrait alors passer à la taille supérieure, et acquérir une barge en planches du type de celles qui sont très utilisées sur ces fleuves. Le coût actuel est de l'ordre de 25.000 F. L'équiper d'un moteur diesel, comme elles le sont généralement, serait fort commode, mais elle pourrait aussi être propulsée, comme le font certains transporteurs du Beni, par les trois moteurs hors-bord. Le SENAMHI semble convaincu de pouvoir acquérir cette barge ; mais quel délai serait nécessaire ?

Pour que cette opération puisse se dérouler sans trop de difficultés, les moyens financiers de l'ORSTOM devraient être les suivants :

|                           |   |          |          |
|---------------------------|---|----------|----------|
| Personnel temporaire      | : | 1.000 F  |          |
| Voyages de tournée        | : | 5.000 F  |          |
| Indemnités de tournées    | : | 20.000 F |          |
| Transport matériel        | : | 5.000 F  |          |
|                           |   | <hr/>    |          |
| Sous-total                | : |          | 31.000 F |
|                           |   |          |          |
| Entretien matériel        | : | 1.000 F  |          |
| Carburant                 | : | 6.000 F  |          |
| Petit matériel            | : | 4.000 F  |          |
| Documentation-photocopies | : | 10.000 F |          |
| Matériel scientifique     | : | 7.000 F  |          |
| Frais sur le terrain      | : | 3.000 F  |          |
|                           |   | <hr/>    |          |
| Sous-total                | : |          | 31.000 F |
|                           |   |          |          |
| TOTAL                     | : |          | 62.000 F |

#### 10.4. Opération "inondations du Mamoré"

L'étude des hauteurs d'eau des stations de Trinidad (Puerto Ganadero, Loma Suarez) à charge du SHN entraînerait peu de frais supplémentaires, car l'échelle est déjà implantée et les voyages en Amazonie passerait par cette ville.

L'implantation et le contrôle d'une échelle à Puerto Siles seraient faits dans le cadre de l'opération "formateurs du Madeira".

L'échelle de Santa Ana devrait être contrôlée.

Al'amont, l'étude des quatre grands formateurs du Mamoré et ce fleuve même demanderait l'implantation et le contrôle de six échelles qui devrait être effectuée en harmonisation et en complémentarité avec le SHN. Cela dépendrait de l'avancement du programme du SHN, planifié pour leurs prochaines campagnes 1982 et 1983.

Il faudrait pour prendre en main ce programme, l'affectation d'un deuxième technicien qui soit depuis Trinidad, soit depuis Cochabamba-Puerto Villaroel, s'occuperait de ces stations et de la collection de l'échantillonnage d'eau, ainsi que des stations climatologiques de Trinidad et Puerto Villaroel. Des missions bimensuelles seraient nécessaires et dureraient quatre semaines.

Un véhicule de La Paz serait utilisé pour les voyages à Cochabamba-Puerto Villaroel, mais celui du SENAMHI de Cochabamba pourrait être également utilisé, \_\_\_\_\_ le voyage depuis La Paz jusqu'à cette ville pouvant alors être fait éventuellement par avion.

Les déplacements sur les fleuves se feraient en pirogue ou zodiac, éventuellement couplé avec des cargos. Une barge assurerait bien sûr des conditions de travail plus sûrs et confortables.

Le coût de l'opération de télédétection (en bureau) resté à évaluer. Sur le terrain, les crédits ORSTOM qui seraient nécessaires, sont, en première approximation, les suivants :

|                         |   |                   |          |
|-------------------------|---|-------------------|----------|
| Personnel temporaire    | : | 1.000 F           |          |
| Voyages de tournées     | : | 3.000 F           |          |
| Indemnités de tournées  | : | 26.000 F (4 mois) |          |
| Transport échantillon   | : | 1.000 F           |          |
|                         |   | <hr/>             |          |
| Sous-total              | : |                   | 35.000 F |
|                         |   |                   |          |
| Entretien matériel      | : | 1.000 F           |          |
| Carburant               | : | 6.000 F           |          |
| Outillage               | : | 2.000 F           |          |
| Documentation et images | : | 10.000 F          |          |
| Matériel scientifique   | : | 3.000 F           |          |
| Frais sur le terrain    | : | 3.000 F           |          |
|                         |   | <hr/>             |          |
| Sous-total              | : |                   | 25.000 F |
|                         |   |                   |          |
| TOTAL                   | : |                   | 60.000 F |

10.5. Opération "physico-chimie et transports solides"

Ces travaux se feraient dans le cadre des opérations hydrométriques et physico-chimiques et ne nécessiteraient que peu de moyens propres en supplément :

|                          |   |         |         |
|--------------------------|---|---------|---------|
| Transport d'échantillons | : | 3.000 F |         |
|                          |   | <hr/>   |         |
| Sous-total               | : |         | 3.000 F |
| Entretien matériel       | : | 1.000 F |         |
| Matériel scientifique    | : | 2.000 F |         |
| Frais sur le terrain     | : | 1.000 F |         |
|                          |   | <hr/>   |         |
| Sous-total               | : |         | 4.000 F |
|                          |   |         | <hr/>   |
|                          |   | TOTAL : | 7.000 F |

RECAPITULATION

Les crédits (F) 1983 nécessaires pour chaque opération

| CHAPITRES              | Climato-<br>pluvio | Apports<br>Andes | Formateurs<br>Madeira | Hydrochimie<br>T. solides | TOTAL   |
|------------------------|--------------------|------------------|-----------------------|---------------------------|---------|
| Personnel temporaire   |                    | 1.000            | 1.000                 |                           | 2.000   |
| Voyages                | 1.000              | 3.000            | 5.000                 |                           | 9.000   |
| Indemnités de tournées | 1.000              | 15.000           | 20.000                |                           | 36.000  |
| Transport matériel     |                    | 1.000            | 5.000                 | 3.000                     | 9.000   |
| Sous-total             | 2.000              | 20.000           | 31.000                | 3.000                     | 56.000  |
| Entretien matériel     |                    | 1.000            | 1.000                 | 1.000                     | 3.000   |
| Carburant              | 1.000              | 2.000            | 6.000                 |                           | 9.000   |
| Petit Matériel         |                    | 4.000            | 4.000                 |                           | 8.000   |
| Documentation          |                    | 5.000            | 10.000                |                           | 15.000  |
| Petit matériel scient. | 1.000              | 4.000            | 7.000                 | 2.000                     | 14.000  |
| Frais sur le terrain   | 1.000              | 3.000            | 3.000                 | 1.000                     | 8.000   |
| Sous-total             | 3.000              | 19.000           | 31.000                | 4.000                     | 57.000  |
| TOTAL                  | 5.000              | 39.000           | 62.000                | 7.000                     | 113.000 |

N'étant pas prévue pour la première année d'étude, l'opération "inondations" n'a pas été évaluée. A titre de comparaison, ces mêmes crédits pour les programmes d'hydrobiologie et de géologie sont, en Bolivie, en 1982, de 155.000 F et 109.000 F.

Crédit spécial de démarrage

De même qu'il est nécessaire pour pouvoir travailler en Bolivie de disposer d'un crédit annuel pour chaque programme, il convient également de disposer d'un crédit spécial de démarrage. L'expérience des conventions passées depuis 1968 avec différents organismes boliviens est formelle : sans ces crédits, aucun programme ne peut être commencé normalement et mené à terme. L'ORSTOM semble avoir compris ces conditions sine qua non, en attribuant, par exemple, au Projet Piscicole un crédit de démarrage d'un montant de 160.000 F en 1981. Le programme se déroule ainsi dans de bonnes conditions.

Pour le Projet Hydrologique, voici, placé par ordre de priorité, le matériel ORSTOM qui serait un gage de succès.

| Ordre de priorité | Matériel                           | Crédits           |         |
|-------------------|------------------------------------|-------------------|---------|
| 1                 | 1 moulinet (éléments)              | 15.000            |         |
| 2                 | 1 cercle hydrographique            | 6.000             |         |
| 3                 | 1 moteur 40 CV                     | 15.000            |         |
| 4                 | 1 canot local                      | 3.000             |         |
| 5                 | - Petit matériel et outillage      | 10.000            |         |
|                   | - Petit matériel scientifique      | 3.000             |         |
|                   |                                    | <hr/>             |         |
|                   |                                    | sous-total        | 52.000  |
| 6                 | 1 micro-ordinateur + périphériques | 60.000            |         |
|                   |                                    | <hr/>             |         |
|                   |                                    | sous-total cumulé | 112.000 |
| 7                 | 1 barge équipée                    | 25.000            |         |
| 8                 | 1 photocopieuse                    | 20.000            |         |
|                   |                                    | <hr/>             |         |
|                   |                                    | sous-total cumulé | 157.000 |
| 9                 | Compléments de moulinet            | 15.000            |         |
| 10                | 1 moteur diesel                    | 50.000            |         |
|                   |                                    | <hr/>             |         |
|                   |                                    | sous-total cumulé | 222.000 |

Personnel. Le personnel participant au Projet peut être ainsi résumé :

ORSTOM

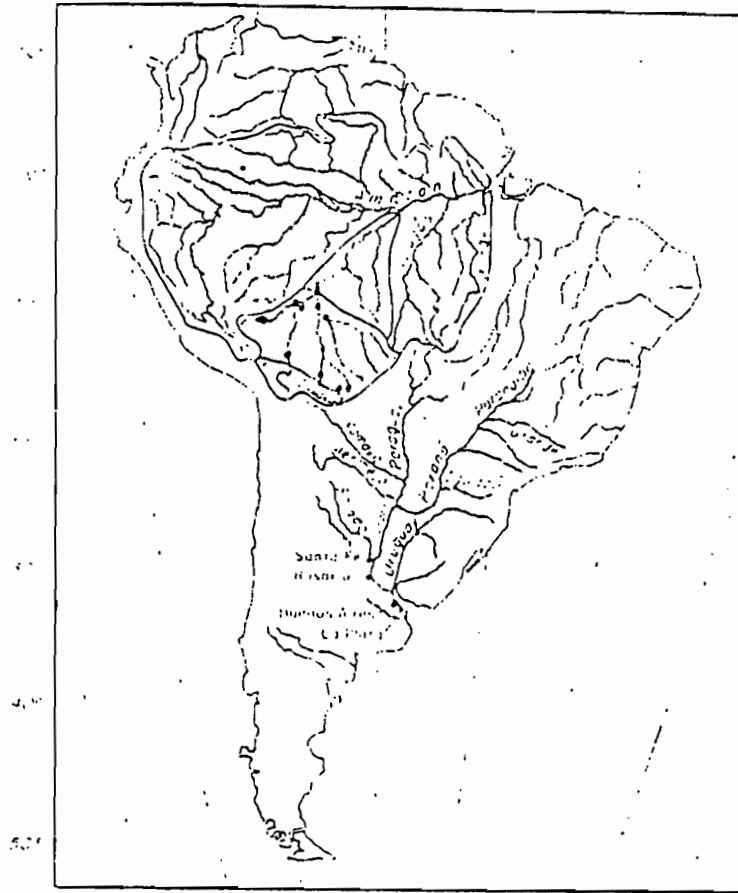
1 Chercheur  
1 Technicien

2 boursiers boliviens DGRST

SENAMHI

3 Ingénieurs  
6 Assistants

Observateurs locaux  
Dessinateur  
Secrétariat (espagnol)



Bassin de l'Amazonie et du haut Rio Madeira

ALTURA DE AGUA (m)

LE MAMORE A TRINIDAD  
(PUERTO GANADERO)

OCTUBRE 1980    NOVIEMBRE    DICIEMBRE    ENERO    FEBRERO    MARZO    ABRIL    MAYO    JUNIO    JULIO    AGOSTO    SEPTIEMBRE    OCTUBRE    NOVIEMBRE

1980

1981

Echelle normale de  
-0.85 m +0.85

