

# L'ORSTOM en BOLIVIE hier et aujourd'hui



Sommet du Volcan Sajama (6545 m).



Méandres du rio Mamoré à Trinidad (180 m).

**Mars 1997**

# **L'ORSTOM en BOLIVIE hier et aujourd'hui**

**Mars 1997**

# Sommaire

	Pages
<b>Introduction</b>	
L'ORSTOM dans le monde	3
L'ORSTOM en Bolivie	4
<b>Première partie : Les grands programmes achevés</b>	
Recherches géologiques	
Géodynamique des Andes de Bolivie	6
Les gisements détritiques d'or et leurs sources primaires	7
Le Salar d'Uyuni : la plus grande croûte de sel du monde	8
Recherches paléoclimatologiques	
La recherche en paléoclimatologie sur l'Altiplano et dans les Andes boliviennes	9
Recherches agronomiques	
La recherche en Bioclimatologie sur l'Altiplano bolivien	11
Recherches agronomiques sur l'agriculture et l'élevage	12
Recherches sur les milieux aquatiques	
Le programme PHICAB	15
L'étude multidisciplinaire du lac Titicaca	17
Ressources ichtyologiques en Amazonie bolivienne	18
Recherches en sciences de la santé	
Programmes sur la nutrition	19
Programmes sur les maladies parasitaires	19
Programmes sur les substances naturelles d'intérêt thérapeutique	21
Recherches en sciences humaines	
Recherches en sciences sociales et économiques	22
<b>Seconde partie : Les grands programmes en cours</b>	
Grand Programme 21 : « Variabilité Climatique »	
NGT : Neiges et Glaciers Tropicaux	24
Grand Programme 23 : « Grands Bassins Tropicaux : Dynamiques et Usages »	
Hydrogéochimie du bassin amazonien en Bolivie	25
Dynamique des zones humides dans le bassin du fleuve Amazone	26
Biodiversité aquatique et facteurs de contrôle en Amazonie bolivienne	29
Grand Programme 52 : « Conditions d'amélioration des situations nutritionnelles »	
Programmes sur la nutrition en Bolivie	30
Grand Programme 53 : « Transmission, Expression, Prévention et Contrôle des Maladies à Vecteurs »	
Programmes sur les maladies tropicales	31
Programmes sur les substances naturelles d'intérêt thérapeutique	33
Grand Programme : « Géographie »	
Les études géographiques en Bolivie	33
<b>Troisième partie : Données techniques sur l'ORSTOM en Bolivie</b>	
Personnels et financements	35
Les moyens et les outils du partenariat	36
<b>Liste des sigles utilisés</b>	37
<b>Première planche photographique</b>	<b>pages 13-14</b>
<b>Seconde planche photographique</b>	<b>pages 27-28</b>

# Introduction

## L'ORSTOM dans le monde

L'ORSTOM (l'Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération) est un établissement public français à caractère scientifique et technologique, qui dépend des ministères chargés de la Recherche et de la Coopération. Cet Institut a pour vocation de réaliser des programmes de recherche en zone intertropicale, avec pour objectif de contribuer à fournir des réponses aux questions liées au développement, en collaboration avec des universités et des instituts de recherche de pays en développement, ainsi que français et européens.

La Recherche, à l'ORSTOM, est marquée par un caractère éminemment interdisciplinaire, tant en ce qui concerne les thématiques que la méthodologie. Près de 900 chercheurs se consacrent à cinq grandes thématiques :

- Conditions et mode du développement
- Le milieu physique, ses ressources et l'impact des activités humaines sur l'environnement.
- Exploitation des ressources naturelles et développement durable.
- Villes et développement.
- Santé et développement.

L'ORSTOM contribue au renforcement des capacités scientifiques des pays du Sud, participe à la formation à la Recherche et apporte son soutien scientifique à travers ses 5 départements scientifiques : (TOA : Terre, Océan, Atmosphère ; DEC : Eaux Continentales ; MAA : Milieux et Activités Agricoles ; DES : Santé ; SUD : Sociétés, Urbanisation, Développement) et ses 23 unités de recherche. Après les années 1995 et 1996, qui furent des années de réflexion stratégique, l'année 1997 verra l'achèvement de la restructuration scientifique de l'ORSTOM avec notamment la mise en place d'une direction scientifique et de grands programmes (quinze à vingt) au sein de départements scientifiques rénovés et dont le nombre sera réduit.

L'ORSTOM compte 32 centres et missions dans le monde, dont certains se trouvent en France métropolitaine (Bondy, Brest, Montpellier et Paris), dans les départements et territoires d'outremer (Guyane, La Réunion, Martinique, Nouvelle Calédonie et Polynésie Française) et dans le reste du monde (Afrique, Amérique Latine, Asie et Indonésie).

En 1996, pour un effectif de 2500 agents dont 600 sont originaires de pays du Sud, le budget de l'ORSTOM représentait 1178 millions de Francs, répartis comme suit :

### Montant du budget : 1178 millions de francs

#### Structure des ressources :

Subvention de l'Etat (BCRD)	90 %
Contrats de recherche	7 %
Autres ressources	3 %

#### Origine des contrats de recherche :

Secrétariat d'Etat à la Recherche	4 %
Ministère délégué à la Coopération	28 %
Autres ministères français	27 %
Union Européenne	24 %
Institutions internationales	7 %
Autres partenaires	10 %

**Nature des dépenses :**

Personnel	72 %
Programmes de recherche	15 %
Logistique des centres	7 %
Autres dépenses (administration...)	6 %

**Ventilation géographique :**

France	43 %
DOM/TOM	14 %
Afrique et Océan Indien	25 %
Amérique Latine	13 %
Asie et autres pays	5 %

**Ventilation par structures :**

TOA	16 %
DEC	12 %
MAA	20 %
DES	10 %
SUD	10 %
DIST	3 %
Moyens Communs	29 %

## L'ORSTOM en Bolivie

La Bolivie, l'un des plus anciens partenaires latino-américains de l'Institut (la première coopération remonte à 1968 dans le cadre d'une étude géologique avec le Service de Géologie de Bolivie), représente le plus fort pôle andin de l'ORSTOM avec durant ces dix dernières années un effectif annuel d'une trentaine d'agents expatriés. Le coût total de la recherche est estimé pour 1996 à 3,3 millions de francs.

La forte présence de l'Institut s'explique par les besoins considérables de ce PED dans les domaines scientifique (recherche et formation) et du développement, mais aussi par le vaste champ de recherche qu'offre ce pays à la fois andin et amazonien. L'action réalisée par l'Institut répond aux priorités nationales boliviennes, tout en étant liée aux grandes problématiques de la recherche internationale.

La collaboration de l'ORSTOM est menée dans le cadre d'un véritable partenariat associant un large éventail d'une quinzaine de partenaires boliviens (universités, instituts de recherches, services ministériels, organismes de développement), mais également, pour certains programmes, des partenaires de coopération français (CNRS, universités, IFEA), ou européens et nord-américains. Les programmes sont définis aux termes de conventions signées avec les contreparties boliviennes. Les conditions de travail sont facilitées par l'existence d'un accord intergouvernemental qui fixe le statut de l'ORSTOM et de ses agents en Bolivie et par la présence d'un représentant permanent assurant le lien entre les parties impliquées.

Plusieurs programmes bénéficient de financements externes boliviens ou étrangers (UE, OMS, AIEA, MAE, Ambassade de France à La Paz, DRCST, CNRS).

Cette coopération a permis d'obtenir un certain nombre de résultats significatifs pour le développement du pays (quelques exemples : en géologie, la découverte de la plus grande réserve de lithium connue au niveau mondial dans le Salar d'Uyuni ; en santé, la mise en évidence de la leishmaniose viscérale et l'identification de son vecteur, la création d'un Centre de Récupération Nutritionnelle et Immunitaire au sein d'un hôpital pour enfant ; en agronomie, la proposition de techniques alternatives susceptibles de

sécuriser la production des principales cultures de l'Altiplano face aux risques de gelée et de sécheresse ; en hydrobiologie, la réalisation d'une monographie du lac Titicaca ; en hydrologie, l'inventaire des ressources en eau de la Bolivie à travers la constitution du bilan hydrologique de ses principaux bassins versants ; en glaciologie-hydrologie, l'évaluation du fonctionnement de glaciers tropicaux, en recul considérable, en liaison avec le réchauffement planétaire et les épisodes ENSO régionaux ). Par ailleurs, l'action de l'ORSTOM a contribué au renforcement des compétences scientifiques de ce pays : chaque programme de recherche comporte un volet formation (écoles de terrain, séminaires, encadrements de stagiaires, de thésards, en Bolivie mais aussi en France). C'est ainsi que durant les 4 dernières années, plus de 50 stagiaires boliviens ont été formés à un titre ou un autre (thèses boliviennes et françaises, stages de formation-insertion et autres, chercheurs associés, etc.).

Aujourd'hui, en 1997, les activités de l'Institut se concentrent essentiellement autour de deux pôles : la santé, et l'ensemble : hydrologie, glaciologie et hydrobiologie. Dans le domaine de la santé, les recherches sont réalisées avec l'IBBA à La Paz (dix chercheurs de l'ORSTOM y sont en affectation dans son département des maladies tropicales et son unité de nutrition) et concernent la parasitologie (maladies parasitaires transmises par vecteurs : Chagas et leishmaniose), la pharmacognosie et la nutrition. En hydrologie-glaciologie et hydrobiologie, il s'agit d'une part d'étudier la ressource en eau, quantitative et qualitative, et d'appréhender les risques liés (dans le contexte des vallées andines et de la plaine amazonienne), et d'autre part la biodiversité aquatique du milieu amazonien et enfin de déterminer les outils de gestion de ce milieu. Les autres programmes portent sur la géologie (l'accent est surtout mis aujourd'hui sur un appui à la formation), l'agronomie (les recherches en cours sur l'Altiplano et les vallées interandines sont en voie d'achèvement), les sciences humaines (dans ce domaine, l'ORSTOM a contribué à la mise en place d'un département de géographie au sein de l'UMSA à La Paz où il participe actuellement à la recherche (atlas des départements de Bolivie) et à la formation ; par ailleurs, à la demande du vice-président de la République de Bolivie, une collaboration sur les questions d'éducation en milieu indien est envisagée dans le cadre du réseau de recherches de l'ORSTOM sur les Systèmes d'Education et le Multilinguisme). Les programmes de recherches ont souvent une dimension régionale (contextes andin et amazonien), ce qui permet à nos partenaires de bénéficier d'échanges scientifiques intéressants. A l'achèvement des programmes, un suivi de la collaboration est toujours prévu, en particulier à travers des missions de chercheurs et l'accueil de stagiaires.

Sur le plan de la valorisation des recherches, outre les publications conjointes, l'ORSTOM assure d'une façon systématique la restitution des résultats par l'organisation en Bolivie de séminaires ou de conférences destinés à un large public, scientifique mais également de décideurs. Par ailleurs, la bibliothèque de la mission ORSTOM de La Paz contient, outre la documentation générale, toutes les publications de référence de l'ORSTOM et de ses partenaires correspondant aux programmes conduits depuis son arrivée en Bolivie.

A moyen terme, les programmes qui seront développés en Bolivie seront fonction de l'adéquation entre la demande bolivienne et les Grands Programmes de l'Institut (certains grands chantiers concernant déjà la Bolivie).

# Première Partie : Les grands programmes achevés

## Recherches géologiques

### Géodynamique des Andes de Bolivie

C'est ce domaine de la recherche qui a servi de berceau à l'implantation de l'ORSTOM en Bolivie au début des années 1970. Une demande de coopération dans ce domaine est naturelle pour un pays qui appuie son développement sur l'exploitation de ressources minérales et énergétiques. Sur une aussi longue période, les besoins, les acteurs et les méthodes de recherches ont changé, ce qui s'est traduit par des modifications profondes des modalités d'action de l'ORSTOM et de ses partenaires. Répondant d'abord à une demande d'inventaire et de cartographie de la géologie du pays, les travaux ont été menés en collaboration avec le Service Géologique National. Par la suite cette demande s'est accrue de besoins plus théoriques, ce qui a naturellement conduit l'ORSTOM à encourager la coopération avec l'UMSA et à orienter une partie de l'effort vers la formation. Enfin au cours des dix dernières années, les recherches sur la géodynamique des Andes boliviennes ont eu comme objectif essentiel de former des techniciens et chercheurs boliviens pour la recherche tout en produisant des connaissances applicables au développement de la production de matières premières minérales et énergétiques. Ceci a été possible grâce à la mise en place d'un réseau de coopération associant, en Bolivie, l'ORSTOM, l'UMSA et d'autres universités nationales ainsi que des organismes industriels publics comme YPF et des services nationaux publics (Sergeomin, ministère des Mines...) et, en France, l'ORSTOM et des universités et laboratoires publics de recherche (CNRS) ainsi que des établissements à vocation industrielle (Total, Elf, IFP, BRGM, par exemple). C'est également dans le cadre de ce réseau que sont organisés les stages de formation et de perfectionnement, en France, de nos collègues boliviens.

La Cordillère des Andes émerge il y a environ 65 millions d'années et se structure progressivement consécutivement à la subduction d'une plaque océanique, celle de Nazca, sous une plaque continentale, celle de l'Amérique du sud, qui garde les marques de structures formées au cours d'orogénèses antérieures. La convergence des deux plaques induit un raccourcissement dans la croûte continentale et le développement de chevauchements qui, globalement en Bolivie, se propagent de l'ouest vers l'est. Ainsi les structures tectoniques et les principaux reliefs sont de plus en plus récents de l'ouest vers l'est, la Cordillère Orientale et les chaînons de la zone sub-andine étant les plus jeunes. A l'échelle locale la déformation est fortement influencée par les caractéristiques (lithologie, géométrie des couches) de roches soumises à cette déformation qui peuvent être héritées de phases orogéniques préandines. Au cours de cette évolution viennent à l'affleurement des roches magmatiques et des fluides minéralisés d'origine profonde circulent le long des failles dans les roches. Les volumes rocheux mis à l'affleurement sont érodés et les sédiments qui en dérivent accumulés dans les zones déprimées constituant des bassins sédimentaires soit dans la chaîne elle-même (bassins intramontagneux), soit dans la zone subsidante située à l'avant de la chaîne et qui résulte de la flexion de la plaque sud-américaine sous le poids des Andes en cours de formation (bassins d'avant-pays). C'est à ces phénomènes de transfert de matière et aux modifications thermiques qui en découlent que sont dues la formation de gisements métalliques, primaires ou secondaires, celle de gisements d'hydrocarbures ou l'accumulation de substances minérales d'intérêt économique.

métalliques, primaires ou secondaires, celle de gisements d'hydrocarbures ou l'accumulation de substances minérales d'intérêt économique.

Les recherches menées dans les Andes de Bolivie par l'ORSTOM et ses partenaires ont permis de détailler le fonctionnement de l'orogénèse à l'échelle régionale afin de proposer des modèles explicatifs qui permettent aux responsables locaux d'orienter la prospective en augmentant les chances de succès. C'est dans cet esprit que furent étudiés la formation, le fonctionnement et la paléogéographie des bassins sédimentaires antérieurs à la formation de la Cordillère actuelle des Andes ainsi que le déroulement de l'orogénèse andine, ce qui permet de proposer un modèle nouveau mettant en évidence le rôle du raccourcissement crustal et des translations latérales dans la formation de la Cordillère. La chronologie et la vitesse des phénomènes ont été détaillées. A partir de ces résultats on a pu disposer d'un cadre prédictif plus précis pour expliquer la formation de gisements détritiques (d'or notamment), l'accumulation de saumures contenant des éléments d'intérêt économique (le lithium du Salar d'Uyuni, par exemple), la migration et le piégeage d'hydrocarbures (dans le sub-andin et l'Altiplano) ou l'occurrence de minéralisations métalliques primaires (dans la Cordillère Orientale ou l'Altiplano).

## **Les gisements détritiques d'or et leurs sources primaires**

Les recherches concernant les « gisements détritiques d'or et leurs sources primaires » ont été conduites dans le but de proposer des modèles de distribution des minéralisations aurifères dans les gisements alluviaux d'or et de caractériser (micromorphologie, composition chimique) les grains d'or composant cette minéralisation. Ces travaux ont eu pour but, d'une part d'accroître les réserves exploitables et, d'autre part, en caractérisant la minéralisation, de donner des indications utiles pour le traitement des alluvions et l'amélioration de la récupération de l'or. Ces données géologiques, minéralogiques et géochimiques sont aussi utilisées pour identifier les minéralisations primaires sources de l'or contenu dans les sédiments et mettre en évidence d'éventuelles minéralisations primaires non connues et qui peuvent avoir un intérêt économique. Enfin les données acquises au cours de ces recherches ont également été utilisées dans un but fondamental : améliorer la connaissance de la formation des gisements d'or détritique des Andes Centrales et la transposition de ces résultats à d'autres gisements andins ou à des gisements détritiques anciens aujourd'hui déconnectés du cadre géologique qui présida à leur formation.

Les partenaires n'étaient pas les mêmes selon l'objectif à atteindre : avec le Centre de Recherche Géologique de l'UMSA ont été réalisés les recherches fondamentales et les programmes de formation, avec la Fédération des Coopératives de Producteurs d'Or les programmes directement appliqués à la prospection et à la connaissance détaillée de gisements alluviaux d'or, en coopération avec le Fonds Rotatoire des Nations Unies Pour l'Exploration des Ressources Naturelles, enfin pour le Ministère des Mines un programme plus orienté vers la prospection.

Ce sont les placers mis en place sur le versant amazonien de la Cordillère Orientale du nord de la Bolivie qui ont été les premiers étudiés et le plus en détail. Le bassin de Tipuani contient des sédiments aurifères exploités depuis l'époque précoloniale et c'est l'épuisement des terrains affleurant le long des cours d'eau qui a provoqué une demande de coopération afin d'améliorer la connaissance du gisement pour orienter l'exploration



vers des niveaux enfouis qui ne pouvaient pas être trouvés par les méthodes traditionnelles. L'ORSTOM en coopération avec le Centre de Recherche Géologique de l'UMSA et l'appui décidé des coopératives de mineurs a pu proposer un modèle d'organisation des sédiments anciens (la formation Cangalli) contenus dans le bassin de Tipuani qui a permis de découvrir de nouvelles couches minéralisées.

Dans le même esprit a été entreprise, dans le cadre d'un accord entre l'ORSTOM et le Fonds Rotatoire des Nations Unies Pour l'Exploration des Ressources Naturelles, une recherche sur les alluvions aurifères de la région de Suches, à la frontière de la Bolivie et du Pérou. Il s'agissait de proposer une évaluation du potentiel aurifère de sédiments fluviaux et glaciaires déposés durant le Pliocène et le Quaternaire. Dans cette évaluation, l'ORSTOM apportait son expérience sur ce type de gisement, d'abord pour guider l'exploration en fonction des caractéristiques géologiques de la zone et ensuite pour préciser, à partir de l'analyse de la minéralogie et des caractéristiques des grains d'or recueillis au cours des opérations de sondage, la connaissance du gisement. Les résultats obtenus ont permis, d'une part d'écarter très vite des zones qui ne pouvaient pas être minéralisées et dans lesquelles il était inutile d'investir en opérations de sondage, et d'autre part d'orienter l'effort sur une zone susceptible d'être plus prometteuse et d'en détailler la structure. Un gisement d'intérêt économique a été mis en évidence.

En même temps que ces recherches détaillées, des investigations plus directement fondamentales ont été conduites sur de vastes secteurs du territoire bolivien et ont permis d'aboutir à une meilleure connaissance des gisements d'or dans plusieurs régions des Andes boliviennes (Cordillère Orientale, Zone Subandine du nord, Altiplano du sud) et des différents contextes géologiques dans lesquels ils peuvent se former.

## **Le Salar d'Uyuni : la plus grande croûte de sel du monde**

L'Altiplano bolivien contient de nombreux lacs salés et croûtes de sel : les Salars. Ceux-ci doivent leur existence à la présence de bassins fermés en climat aride où l'évaporation excède la pluviosité. C'est là que se trouve la plus grande croûte de sel du monde : le Salar d'Uyuni, d'une superficie totale de 10000 km<sup>2</sup>. C'est une croûte poreuse de chlorure de sodium, de 11 mètres d'épaisseur maximum, qui repose sur des sédiments lacustres. La croûte renferme une saumure interstitielle très riche en éléments économiquement intéressants comme le potassium (K), le lithium (Li) et le bore (B). Le lithium est utilisé dans les batteries électriques, le potassium dans les engrais et le bore dans l'industrie du verre et en métallurgie.

L'importance économique de ce gisement a conduit l'ORSTOM à entreprendre son étude au moyen d'une sondeuse-carotteuse. Quarante puits ont été forés dans la croûte de sel et des échantillons de saumures et de sels prélevés à diverses profondeurs. Il a ainsi été possible de quantifier les réserves en K, Li et B dans le Salar, ainsi que de localiser les zones de concentrations élevées. Avec 9 millions de tonnes de lithium, le Salar d'Uyuni constitue la plus grande réserve de cet élément connue à ce jour dans le monde. Les réserves de potassium (190 millions de tonnes) et de bore (8 millions de tonnes) sont également très importantes. Les teneurs les plus élevées en K, Li, B se trouvent près de la bordure sud-est du Salar où elles atteignent plus de 4 g/l de Li et B et plus de 30 g/l de K, soit des teneurs environ 10 fois plus élevées que dans le reste du Salar.

Un sondage carotté de 121 m de profondeur a été réalisé au centre du Salar. Il a révélé une séquence évaporitique complexe de 12 croûtes de sel séparées par 11 niveaux de sédiments lacustres. Toutes ces croûtes contiennent également des saumures interstitielles très concentrées en K, Li et B. Les réserves estimées du Salar d'Uyuni proprement dit ne concernent que la croûte superficielle de la séquence. Si l'on tient compte des saumures des croûtes plus profondes, les réserves en K, Li et B sont pratiquement inépuisables.

La croûte de sel du Salar d'Uyuni provient de l'assèchement, il y a 10000 ans, d'un immense lac salé : le lac Tauca. Au moins dix autres lacs salés ont également occupé le bassin d'Uyuni pendant les périodes plus humides du Quaternaire. Chacun de ces lacs déposait une croûte de sel lorsqu'il s'asséchait. En s'établissant dans le bassin, chaque nouveau lac redissolvait une partie de la croûte déposée par le lac précédent. Ainsi d'énormes quantités de sel ont été transmises de lac en lac jusqu'au Salar d'Uyuni actuel. Quant au sel des paléolacs les plus anciens, il provient de la redissolution de Salars plissés et faillés du Tertiaire qui affleurent sous forme de diapirs dans tout l'Altiplano.

Le potassium, le lithium et le bore dissous dans les saumures ont pour origine l'altération des roches volcaniques du bassin versant. Les très fortes teneurs en K, Li, B dans les saumures interstitielles de la bordure sud-est de la croûte de sel sont dues à l'accumulation depuis 10000 ans des apports en ces éléments par le principal tributaire du Salar : le Rio Grande du Lipez. Ses eaux s'infiltrent avant d'atteindre la croûte de sel et alimentent une nappe souterraine qui s'écoule lentement vers le Salar. En atteignant la croûte de sel, la nappe affleure et s'évapore intensément en concentrant ainsi le potassium, le lithium et le bore dans des saumures résiduelles.

## **Recherches paléoclimatologiques**

### **La recherche en paléoclimatologie sur l'Altiplano et dans les Andes boliviennes**

Les Andes de Bolivie, situées aux limites de l'aridité, comptent parmi les régions du globe les plus exposées aux variations climatiques. Les précipitations y sont au moins partiellement contrôlées par les modifications de l'environnement global. Une tendance générale à l'augmentation des précipitations a eu lieu entre 1965 et 1990 : elle coïncide avec un réchauffement relatif de l'hémisphère sud. Des années d'intenses sécheresses se sont superposées à cette tendance générale : elles sont corrélées aux fortes perturbations (phénomènes ENSO) qui affectent épisodiquement la circulation océanique dans le Pacifique tropical. Ces observations montrent que la prévision et l'estimation des variations futures du climat passent par une meilleure compréhension des processus qui relient le climat régional au fonctionnement du système planétaire. Ces processus ne peuvent être pleinement appréhendés que sur de longues périodes, car les différentes composantes du système (glaces continentales, océans, atmosphère et continents) évoluent à des pas de temps différents. Les études paléoclimatiques sont les seules à pouvoir prendre en considération la complexité des évolutions temporelles car elles permettent de reconstituer les changements sur plusieurs dizaines de millénaires.

Le programme paléoclimatique mis en œuvre dès les années 80 par l'UMSA et l'ORSTOM a été ciblé sur deux objectifs : 1) Reconstituer les changements passés du climat dans les Andes boliviennes depuis la dernière époque la plus froide de l'évolution récente de la planète (- 20000 ans) ; 2) Proposer des scénarios qui relient les changements du climat en Bolivie avec ceux des autres régions du globe. Aujourd'hui, un nouveau programme devrait s'orienter vers un objectif de vérification des simulations climatiques effectuées par les physiciens avec l'aide des techniques de la modélisation.

Les changements climatiques ont été appréhendés en Bolivie au travers de leurs enregistrements dans la sédimentation des lacs et des fonds de vallées. Les sédiments contiennent de multiples traces des modifications passées de l'environnement. Les micro-organismes qui y sont fossilisés (diatomées, ostracodes, pollens...) donnent des indications sur les paléomilieus où ils ont vécu avant d'être incorporés dans les dépôts. Ils permettent, par des traitements statistiques appropriés, d'estimer certains paramètres physiques liés au climat (profondeur, salinité, composition ionique des anciens milieux aquatiques).

Ces reconstitutions ont mis en évidence des variations de grande amplitude du climat durant les 20000 dernières années.

Des conditions beaucoup plus humides qu'actuellement ont été marquées par la présence d'un lac (le lac Tauca) de 80000 km<sup>2</sup>, salé et chloruré sodique, dans des bassins aujourd'hui arides du sud de l'Altiplano. Datées en âge calendaire d'environ 14500 ans avant nos jours, ces conditions humides coïncident avec un épisode de fonte accélérée des calottes glaciaires aux hautes latitudes. L'hypothèse la plus probable est que les circulations océaniques, alors fortement perturbées par des apports en eau douce, ont induit un renforcement des précipitations en Bolivie.

Des conditions arides ont provoqué un peu après 14000 ans un assèchement des lacs du sud de l'Altiplano. Elles sont chronologiquement proches d'une phase d'intense refroidissement du climat en Europe. Un retour à des conditions plus humides qu'actuellement est observé vers 10000 ans dans le sud de la Bolivie et le nord du Chili. Connue dans de nombreuses autres régions tropicales, cette phase humide semble être liée à un nouvel épisode de fonte accélérée des calottes glaciaires.

La dernière grande phase sèche (probablement liée à des phénomènes durables, de type ENSO anormalement permanents) a eu lieu entre 7500 et 4000 ans avant nos jours. Elle a été marquée par un très bas niveau du lac Titicaca. Cette phase sèche, que l'on connaît seulement aux latitudes tropicales sud du continent américain s'oppose à des conditions beaucoup plus humides qu'actuellement au Sahara. Elle coïncide avec une période durant laquelle les températures ont été en moyenne un peu plus élevées qu'actuellement dans l'hémisphère boréal.

Ces données confirment que le climat des Andes de Bolivie dépend des modifications de l'environnement global. Elles ne sont que partiellement en accord avec les modèles mathématiques. Cela s'explique probablement par le fait que les modèles n'ont pas encore intégré de manière satisfaisante les processus d'origine océanique de la variabilité climatique. Aujourd'hui, la question majeure est de savoir si les aléas climatiques des Andes boliviennes seront renforcés ou au contraire atténués par le réchauffement global qui est attendu à l'échéance des prochaines décennies en raison de l'augmentation des teneurs en gaz à effet de serre de l'atmosphère.

Les études paléoclimatiques, qui prennent en considération les variations passées de la température, seront décisives dans la réponse qui sera donnée à cette question.

Ce type d'étude peut aussi dans certains cas fournir un fil conducteur très utile à la prospection de substances d'intérêt économique. Les recherches géochimiques qui ont été conduites parallèlement au programme paléoclimatique dans le sud de l'Altiplano sur le Salar d'Uyuni en donnent l'illustration.

## Recherches agronomiques

### La recherche en Bioclimatologie sur l'Altiplano bolivien

L'Altiplano est un vaste bassin endoréique situé à une altitude moyenne de 4000 m. Il regroupe plus du quart de la population rurale de Bolivie. Les études archéologiques, ethno-historiques, géographiques et agronomiques ont montré l'importance agricole de ce haut plateau depuis l'époque préincalque jusqu'à nos jours malgré un contexte agroclimatique très limitant de fréquentes sécheresses et de fortes gelées. Les pratiques et les savoirs paysans ont conduit au développement d'une agriculture spécifique basée essentiellement sur la réduction des risques climatiques. Les rendements des cultures restent cependant très variables et en moyenne faibles. Dans l'objectif général d'une augmentation sensible et durable de la production agricole sur l'Altiplano, l'ORSTOM en étroite collaboration avec le SENAMHI, l'IBTA et l'ABTEMA a mené un programme de recherches pluridisciplinaires sur « les risques climatiques et la production agricole sur l'Altiplano Bolivien ». Il s'agissait d'une part d'analyser précisément les facteurs déterminants, l'intensité et la variabilité spatiale des risques climatiques à différents niveaux d'échelle, et d'autre part d'étudier les stratégies paysannes anciennes et récentes face à ces risques afin de définir, en s'appuyant aussi sur des expérimentations, des recommandations pour les agents de développement et les agriculteurs qui permettraient une amélioration des rendements agricoles.

Les recherches, auxquelles ont participé des étudiants en thèse, ont abordé des aspects cognitifs, méthodologiques et appliqués ; les principaux résultats obtenus sont les suivants :

Sur l'analyse agroclimatique de la sécheresse et des gelées :

- la détermination précise des besoins en eau des cultures sur l'Altiplano (à 4000 mètres) par lysimétrie et le bilan radiatif et l'évaluation des risques de sécheresse par un modèle simple de bilan hydrique selon différents types de cultures, de sols, de date de semis, etc..
- la caractérisation des mécanismes de gelées sur l'Altiplano et l'élaboration d'un modèle de prévision de la température minimale,
- le zonage à l'échelle du km<sup>2</sup> des risques de gelées et de sécheresse par la combinaison des données du réseau météo et des données infrarouges thermiques du satellite NOAA-AVHRR.

Sur l'analyse agroclimatique des pratiques agricoles :

- la caractérisation de résistance à la sécheresse des quinoas et des cañahuas (*Chenopodium spp.*) et des tubercules andins (*Solanum spp.* et *Oxalis tuberosa*)

par l'analyse de leurs réponses hydriques et photosynthétiques lors d'un stress hydrique,

- la mise en évidence du rôle majeur de la biodiversité des espèces de *Solanum* utilisées par les agriculteurs dans la lutte contre les risques de sécheresse,
- la détermination de l'importante hétérogénéité introduite par la topographie et les types de sol sur les risques de gelées au niveau de l'espace agricole géré par un paysan dans sa communauté et l'adéquation avec les dates de semis et les espèces et les variétés choisies,
- la détermination de l'influence microclimatique sur les cultures des techniques précolombiennes de camellones (suka-kollos),
- l'évaluation des effets protecteurs contre les gelées de différents types de couvertures nocturnes (toile, végétaux, agrofilm, etc...) et des serres.

Les recherches sur ces thèmes sont loin d'être conclues et doivent donc se poursuivre, les résultats de cette coopération scientifique avec nos collègues boliviens ont permis cependant de répondre aux premières questions posées : où, quand et comment les sécheresses et les gelées se produisent-elles sur l'Altiplano bolivien ? quelles sont les pratiques paysannes et leurs logiques mises en place face à ces risques ? et quelles techniques pourraient être développées pour réduire leurs impacts sur les cultures ?

## Recherches agronomiques sur l'agriculture et l'élevage

Deux programmes d'agronomie se sont achevés en 1996, après sept ans de travaux en Bolivie. A l'UMSS de Cochabamba, l'ORSTOM a formé, par la recherche sur les systèmes de culture de vallée, une génération d'ingénieurs agronomes boliviens aux concepts de l'école agronomique française. A l'IBTA, une équipe pluridisciplinaire de l'ORSTOM a proposé, dans une région à contraintes climatiques extrêmes, l'Altiplano central bolivien, des modes de fonctionnement durables des systèmes de production, en donnant la priorité à quatre thèmes : le travail du sol, les systèmes d'élevage, la conduite des jachères et les représentations des modes de culture par les communautés aymara. L'effort de formation, particulièrement important en Bolivie, s'est traduit au total par la soutenance de 30 diplômes d'ingénieurs agronomes boliviens, 5 DEA et DESS, et prochainement de 3 thèses du système français.

A l'opposé des avis antérieurs, il a été démontré que les lamas et les ovins exploitent de manière complémentaire les ressources fourragères de l'Altiplano aride : les lamas présentent une meilleure digestibilité des graminées dures que les ovins, ont une viande de qualité, car pauvre en cholestérol, mais un faible taux de reproduction. Le traitement par des produits alcalins (soude, urée, cendre) d'espèces fourragères locales (*Festuca orthophylla*) fournit un aliment de complément pour les jeunes animaux ou durant les périodes déficitaires. Les multiples usages des plantes composées locales (*Parastrephia* sp.) pourraient être développés : fourrage, bois de feu, huiles essentielles pour des applications médicamenteuses.

Les études *in situ* sur le comportement alimentaire des lamas et des ovins ont montré que l'association des 2 espèces au sein des cheptels familiaux permet une meilleure utilisation des ressources fourragères. Des études sur les ressources pastorales et leur utilisation digestive ont montré que le lama est doté d'une aptitude supérieure à celle de l'ovin pour digérer les fourrages les plus pauvres et aussi les plus abondants sur l'Altiplano. Des suivis en ferme pendant 3 ans ont mis en évidence la grande variabilité





GEOLOGIE: Sédiments tertiaires de la Formation Tupiza (rouge) et de la Formation Oploca (beige).



GEOLOGIE: Exploitation de l'or dans les conglomérats de base de la Formation Cangalli (Tipuani).



GEOLOGIE: Le Salar d'Uyuni, la plus grande croûte de sel au monde.



PALEOCLIMATOLOGIE: Examen de terrasses et tourbières de la vallée d'Ichu Khota (4950 m).



BIOCLIMATOLOGIE: Champs de quinoa devant le Salar d'Uyuni.



AGRONOMIE: Troupeau de lamas dans un corral du Sud Lipez.



- Fleuves et lagunes
- Forêt-galeries
- Forêts de plaine alluviale
- Végétation secondaire et anthropique
- Savane haute (arbustive à arborescente)
- Savanes basses
- Pâturages
- Villes et sols nus

TELEDETECTION: Classification des grandes unités de paysage, environs de Trinidad.



HYDROLOGIE: Tournée hydrologique sur le fleuve Beni.



HYDROSYSTEMES: Le lac Titicaca.



HYDROLOGIE: Jaugeage du Chapare avec l'ADCP



GLACIOLOGIE: Station climatologique du Huayna Potosi (5560 m).

des résultats biotechniques qui s'expliquent d'une part par les caractéristiques biologiques des troupeaux et d'autre part par les pratiques des éleveurs pour organiser la reproduction de leurs troupeaux et pour assurer leur subsistance familiale en prélevant des animaux sur le cheptel. Des innovations améliorant les performances technico-économiques des cheptels sont proposées.

Dans des conditions semi-arides, la complémentarité de l'agriculture et de l'élevage est effective : implantation des systèmes de culture, valorisation par les troupeaux des résidus de culture et des jachères, au sein même des exploitations.

Un labour mécanisé précoce et profond offre à la culture de pommes de terre une meilleure réserve en eau du sol, à condition de veiller aux réglages des charrues et d'adapter les dates et modalités des travaux à la texture du sol, ce que l'organisation du travail ne permet pas toujours. Le paiement des tractoristes à la surface labourée, et non au temps passé, entraîne un risque de travaux vite et mal faits. Sur des sols argileux et salés, l'emploi d'une sous-soleuse et l'apport de déjections ovines facilitent l'implantation de quinoa, de légumineuses ou d'halophytes.

L'amélioration de la qualité du foin d'orge ou l'introduction de légumineuses sur les soles en jachère sont des moyens d'intensifier la production bovine (lait et viande), avec des retombées sur la production ovine, dont on peut attendre en retour une fertilisation organique plus élevée.

Mais l'enjeu sans doute dominant de ces systèmes agro-pastoraux est la réduction dans l'espace et dans le temps des jachères longues pâturées : un enjeu agronomique puisqu'on ne connaît pas toutes les interactions entre les différentes composantes de la fertilité (physique, chimique, biologique) et qu'il faut vérifier quelles fonctions assurent ces jachères, qui sont un enjeu social puisque leur gestion met en jeu des décisions individuelles et collectives. Des modèles, représentant le fonctionnement annuel d'une exploitation et les relations entre exploitations dans une communauté durant la totalité d'un cycle de rotation, permettent d'explorer par simulation les conséquences d'une réduction de la jachère. Leur construction pluridisciplinaire est autant une source de connaissances que l'expérimentation de scénarios. Leur couplage et leur extension à la gestion d'autres ressources naturelles renouvelables sont envisagés.

## **Recherches sur les milieux aquatiques**

### **Le programme PHICAB**

Le programme PHICAB, programme sur l'hydrologie et la climatologie de la Bolivie, fut initié en 1982 par l'ORSTOM et ses partenaires boliviens, le SENAMHI, l'IHH de l'UMSA et le CONAPHI. Ce programme fut consacré à l'étude spatio-temporelle du climat et de la ressource en eau de tous les bassins versants de Bolivie, ainsi qu'à l'hydrochimie et aux sédiments transportés par les principaux fleuves et rivières boliviens. De par ses thèmes de recherches, le programme PHICAB fut dès ses débuts en complète harmonie avec le Programme Hydrologique International de l'UNESCO dont l'objectif était d'établir le bilan hydrologique de l'Amérique du Sud, à partir des bilans hydrologiques nationaux.

L'étude des distributions spatiales et temporelles des principaux paramètres climatologiques de Bolivie fut réalisée à partir de la confrontation des cartes, des



données et des publications existant en Bolivie. Les paramètres climatiques les mieux étudiés étaient ceux qui entraient directement dans la constitution du bilan hydrologique : précipitations, températures et évapotranspirations réelles, aux niveaux mensuel, annuel et interannuel. Mais une attention particulière était également mise sur les anomalies climatiques qui surviennent en Bolivie, comme la pénétration des fronts polaires ou les phénomènes ENSO.

En hydrologie, le réseau national hydrologique présentait de graves lacunes, notamment dans sa partie amazonienne, et l'une des premières actions du programme PHICAB fut d'installer et de suivre un réseau de stations hydrométriques pour l'étude des hauteurs d'eau et des débits sur les rios amazoniens des bassins du Mamoré, de l'Itenez, du Beni et du Madre de Dios. A partir des données disponibles il fut alors possible d'établir le bilan hydrologique de tous les bassins de Bolivie et de déterminer les principaux régimes hydrologiques du pays.

En hydrochimie et transports solides, les mesures entreprises dans le cadre de PHICAB permirent aussi de qualifier la qualité hydrochimique des eaux de surface et de faire une première évaluation des quantités de matériaux en suspension et en dilution transportés par les principaux fleuves.

Les résultats du programme PHICAB constituent la première somme de connaissances quantitatives et qualitatives sur les ressources en eau de la Bolivie. Il fut conclu par un séminaire de restitution de l'ensemble des résultats en novembre 1992, dont les actes furent publiés, et par la réalisation d'une plaquette exhaustive sur le bilan hydrologique superficiel de Bolivie, aux normes de l'UNESCO, éditée aussi fin 1992. Cette publication présente des cartes importantes pour la connaissance des ressources hydriques de Bolivie et donc son développement : orographie, précipitations, températures, évapotranspiration réelle, débits mensuels, coefficients d'écoulement, débits spécifiques, ainsi que l'ensemble des tableaux des bilans hydrologiques des différents bassins versants boliviens.

A titre indicatif, sont présentés certains des principaux résultats de ce programme qui sont autant de paramètres fondamentaux de la connaissance hydrologique de la Bolivie :

- L'hétérogénéité des précipitations sur la Bolivie, causée par la confluence sur cette région de masses d'air fort distinctes aux dynamiques propres, et accentuée par l'effet du relief très contrasté et des vastes étendues d'eau (lac Titicaca) ou de sel (Salars d'Uyuni, Coipasa, etc...), conduit à des bilans hydrologiques très variés d'un bassin hydrographique à un autre.

- Le bassin versant du haut Madeira, pour un bassin versant d'une superficie de 888000 km<sup>2</sup> à sa sortie de Bolivie vers l'Amazone, reçoit une précipitation moyenne annuelle de 1814 mm. Avec une évapotranspiration réelle annuelle de 1170 mm (64.5 %) restent disponibles pour l'écoulement 645 mm par an, soit un coefficient d'écoulement de 35.5 %, un débit moyen annuel de 18150 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> et un débit spécifique d'écoulement de 20.4 l.s<sup>-1</sup>.km<sup>-2</sup>.

- Le bassin endoréique de l'Altiplano, pour un bassin versant d'une superficie de 191000 km<sup>2</sup>, reçoit une précipitation moyenne annuelle de 421 mm. L'endoréisme du bassin et une évapotranspiration supérieure à la précipitation font que *in fine* la totalité des eaux s'évapore. Au sein de ce bassin, le lac Titicaca, avec un plan d'eau de 8693 km<sup>2</sup> reçoit de ses tributaires une lame

d'eau équivalente de 1019 mm par an. Son alimentation se complète par une précipitation annuelle sur sa surface de 977 mm. Le déversement annuel par le rio Desaguadero représente 45 mm par an et l'évaporation annuelle 1668 mm.

Ainsi, les termes du bilan hydrologique ont été évalués pour la première fois en Bolivie de façon systématique. Bien que ces calculs s'appuient sur des réseaux climatologiques et hydrologiques encore très insuffisants, ils constituent les premières données fiables sur les ressources en eaux superficielles de Bolivie.

## **L'étude multidisciplinaire du lac Titicaca**

Dans la mythologie inca le lac Titicaca était considéré comme un lieu sacré, centre des origines du monde. Après la découverte de l'Amérique il a continué à fasciner les hommes, depuis les conquistadors, en passant par les naturalistes voyageurs du XIX<sup>ème</sup> siècle, jusqu'aux chercheurs de notre époque. Ce lac est en effet original à plus d'un titre : sa position latitudinale (14° sud), altitudinale (3800 m), son extension (8700 km<sup>2</sup>), sa profondeur (285 m), son système hydrologique endoréique et le fort endémisme de sa flore et de sa faune. De plus, ses rives, sont densément peuplées et il génère des productions agricoles et halieutiques non négligeables.

Il est impossible de recenser ici tous les travaux anciens relatifs au lac Titicaca. Peuvent être cités : d'Orbigny, Pentland (qui livra de précieuses collections d'*Orestias* à Cuvier et Valenciennes), Castelnau et Weddel, Agassiz et Garman, de Créqui-Montfort et Sénéchal de la Grange etc..

En 1937, la « Percy Sladen Trust Expedition » dirigée par Gilson rapporta et analysa de très importantes collections. Les résultats de cette expédition font encore aujourd'hui référence. De nombreux travaux furent publiés depuis par Vellard, Brundin, Newell, Löffler par exemple, mais il fallut attendre les années 70 pour voir se dérouler des études coordonnées. Les unes furent entreprises par le laboratoire de l'IMARPE de Puno (Pérou) en collaboration avec l'Université Davis (Californie), les autres développées par l'ORSTOM associé à l'UMSA de La Paz.

Les travaux menés dans le cadre d'une convention passée entre l'UMSA et l'ORSTOM, commencés en 1974, se sont terminés en 1989. Ils ont porté successivement sur la géologie, la morphométrie, la sédimentologie, l'hydrogéochimie, la limnologie, le phyto- et zooplancton, les macrophytes, les invertébrés benthiques et les poissons. Il n'est pas possible de résumer ici tous les résultats obtenus, présentés dans plus d'une centaine de publications, thèses et rapports. Outre les aspects descriptifs, le fonctionnement du lac a été pris en compte, ce qui a apporté des éléments nouveaux, notamment en ce qui concerne les limites et les dangers d'une utilisation irrationnelle des eaux lacustres.

On peut dire aujourd'hui que le lac Titicaca est relativement bien connu grâce aux travaux anciens, à ceux de l'IMARPE-Université Davis et à ceux de l'ORSTOM-UMSA. Les connaissances accumulées aux cours des ans ont été réunies dans un ouvrage collectif de synthèse « El Lago Titicaca » publié en 1991 en espagnol, puis en anglais, et qui fait actuellement autorité.

## Ressources ichtyologiques en Amazonie bolivienne

Avec ses trois bassins versants (Altiplano, La Plata, Amazonie) la Bolivie possède des ressources hydrologiques très importantes et corrélativement des potentialités halieutiques considérables. Paradoxalement ces ressources piscicoles sont actuellement peu exploitées. Les raisons de cette sous exploitation sont variées, mais il semble bien que le facteur principal soit un facteur culturel : le bolivien préférant la viande bovine au poisson. La consommation de poisson est d'environ un kilo *per capita*, soit une production annuelle de 7000 tonnes, ce qui est très faible. Cette production provient du lac Titicaca (pejerrey, *Basilichthys bonariensis*, et truite d'élevage, *Salmo gairdneri*), des pêcheries de Villamontes (sábalo, *Prochilodus lineatus*) et à un moindre degré des pêcheries amazoniennes (pacú, *Colossoma macropomum*, surubí, *Pseudoplatystoma fasciatum*). L'Amazonie bolivienne, de par son étendue (une fois et demie la surface de la France), l'importance de sa zone d'inondation centrale (100000 km<sup>2</sup>), son climat très favorable à la production piscicole, et la proximité de l'immense marché brésilien est sans conteste la région potentiellement la plus prometteuse.

C'est dans le but d'étudier la richesse piscicole de cette région et de fournir au pays des éléments fiables pour une exploitation raisonnée de la pêche, que les hydrobiologistes ont développé de 1981 à 1987 un programme d'évaluation des ressources ichtyologiques dans la région de Trinidad. Cette étude a été menée conjointement avec l'UTB et CORDEBENI.

Le programme, élaboré conjointement avec la contrepartie bolivienne, comportait essentiellement trois objectifs : systématique et inventaires, biologie des espèces d'intérêt commercial, rendements des engins de pêche.

Les résultats obtenus ont donné lieu à une quarantaine de publications : livres, articles dans des revues à comité de lecture, rapports locaux, présentations à des congrès :

- Les récoltes ichtyologiques dans le bassin du Mamoré s'élèvent à 327 espèces (dont une dizaine de nouvelles pour la science), ce qui traduit une diversité spécifique très élevée. Parmi toutes ces espèces, seules 4 ou 5 de grande taille sont exploitées, alors qu'une bonne quinzaine mériteraient de l'être. Une collection de référence a été constituée à Trinidad, La Paz et Paris. Les divers peuplements ont été décrits en fonction des divers biotopes existants : biefs supérieurs et inférieurs, zone d'inondation.
- La biologie d'une quinzaine d'espèces commerciales a été étudiée, surtout sous ses aspects reproduction (époques, lieux, migrations), régimes alimentaires et, à un moindre degré, croissance.
- Les rendements des filets maillants sont extrêmement élevés (en moyenne 15 kg/100 m<sup>2</sup>/jour) soit dix fois plus que dans le lac Titicaca. Il n'a pas été noté en 7 ans une quelconque diminution des rendements, ce qui prouve le peu d'impact de la pêche locale. De plus les poissons atteignent ici une taille exceptionnelle, ce qui est un autre indice de sous exploitation.

En guise de conclusion on peut dire que l'Amazonie bolivienne, actuellement peu exploitée, a un grand avenir halieutique. La production biologique grossièrement estimée s'élève à 250.000 t/an. On peut estimer qu'avec un minimum d'organisation de la pêche,

une production effective de 100.000 t/an pourrait être un objectif raisonnable, sans risque pour la pérennité de la ressource. Cette production couvrirait sans mal le marché national, mais pourrait en outre apporter de précieuses devises à l'exportation. Il appartient donc aux politiques et décideurs boliviens de se rendre compte de l'enjeu.

## **Recherches en sciences de la santé**

### **Programmes sur la nutrition : Réhabilitation immuno-nutritionnelle d'enfants dénutris graves**

La dénutrition sévère demeure, pour les pays en voie de développement, une des premières causes de mortalité des jeunes enfants. Elle est la cause la plus fréquente d'un déficit immunitaire secondaire dont la conséquence principale est une diminution de la résistance aux infections.

L'objectif principal des recherches effectuées entre 1987 et 1993 au CRIN de Cochabamba en partenariat avec des professionnels de la santé et des universitaires boliviens (UMSS) était de développer une approche intégrale du traitement des formes graves de dénutrition infantile. L'alliance de professionnels de la santé et de chercheurs a contribué au développement d'une structure de travail orientée vers l'amélioration des traitements existants et la recherche de nouvelles voies de traitement comme la récupération immunitaire.

La validité de l'échographie, méthode non invasive et de faible coût, pour la mesure du thymus, organe jouant un rôle majeur dans l'immunité, a été démontrée. La dénutrition provoque l'atrophie du thymus et un défaut de maturation des lymphocytes T. La surveillance du thymus et des populations lymphocytaires des enfants hospitalisés montre l'insuffisance du traitement diététique classique. En effet le déficit immunitaire persiste au-delà de la récupération clinique visible. Laisser sortir de l'hôpital un enfant apparemment sain mais toujours immuno-déprimé augmente les risques de rechute et la mortalité post-hospitalière. La durée de la récupération immunitaire a pu être diminuée de moitié par l'adjonction de zinc dans les régimes et coïncide avec le temps nécessaire à la reprise d'un poids normal. L'enfant est alors immunologiquement apte à affronter son milieu ambiant. Le surcoût d'un tel traitement est négligeable face à l'épargne d'un mois d'hospitalisation et à l'absence de rechutes.

### **Programmes sur les maladies parasitaires**

Avec le soutien des coopérations bilatérale et régionale françaises, la recherche de l'ORSTOM sur les maladies parasitaires en Bolivie s'est intéressée aux deux endémies majeures du pays : la maladie de Chagas et les leishmanioses. Ces parasitoses transmises par des insectes constituent aussi des problèmes prioritaires dans la plupart des autres pays d'Amérique Latine.

#### **La maladie de Chagas**

La maladie de Chagas est due à un protozoaire, *Trypanosoma cruzi*, transmis par les fèces des punaises hématophages américaines, appelées « triatomes » ou « réduves »

(*Triatominae*). Plus de 16 millions de personnes sont infectées en Amérique Latine, et 90 millions sont considérés « à risque ». La stérilisation du réservoir animal est impossible car ce dernier est trop abondant (150 espèces animales, classées dans 7 ordres différents). Par ailleurs, les médicaments utilisables (nifurtimox et benznidazole) sont relativement toxiques, et ne sont actifs qu'en début d'infection. La lutte contre cette endémie passe donc principalement par la lutte contre les insectes vecteurs (et le contrôle des banques de sang). En Bolivie il y a aujourd'hui, en moyenne, 200 nouveaux cas de Chagas par jour, tous attribuables à l'activité d'un seul vecteur : *Triatoma infestans*.

Les résultats majeurs des recherches de l'ORSTOM et de l'IBBA obtenus avant 1990 sont les suivants.

- Les études du vecteur de la maladie de Chagas en Bolivie ont permis de comprendre l'organisation de ses populations naturelles et de découvrir le seul foyer silvestre connu de *Triatoma infestans* en Amérique Latine (cette espèce se rencontre dans 7 pays), confirmant la Bolivie comme le berceau de l'espèce. Ces travaux relatifs au vecteur ont été couronnés par le Prix Smith Kline Beecham Pha, décerné récemment par l'Académie Royale des Sciences d'Outre-mer en Belgique.
- Les travaux sur le parasite de la maladie de Chagas, *Trypanosoma cruzi*, ont jeté les bases d'une recherche fondamentale sur la structure des populations parasitaires. Cette recherche se poursuit très activement aujourd'hui dans la plupart des pays industrialisés et s'est étendue à d'autres micro-organismes protozoaires (agent du paludisme, de la toxoplasmose, etc.), mais aussi aux bactéries et aux levures.

## Les leishmanioses

Les leishmanioses forment un groupe de maladies répandues à travers le monde dans les zones de climat tropical et sub-tropical. Pour l'OMS, c'est une des 7 maladies à combattre en priorité dans le monde. Le cycle parasitaire comprend trois éléments : le parasite lui-même (*Leishmania*), l'insecte vecteur ou phlébotome (un très petit « moustique ») et le réservoir animal, qui peut être sylvestre (marsupiaux, rongeurs, etc.) ou domestique (chien). En Bolivie, la leishmaniose tégumentaire sévit essentiellement dans les vallées des Yungas et une grande partie du bassin amazonien. Cinq des 9 départements de Bolivie sont atteints : La Paz, Cochabamba (Chapare, Carrasco), Santa Cruz, Beni et Pando. Traditionnellement, l'homme s'infecte dans la forêt en faisant irruption dans le cycle naturel du parasite. La maladie engendrée par l'infection peut être mortelle, tant dans sa forme viscérale que dans la forme tégumentaire. En outre, la forme tégumentaire peut être responsable de complications muqueuses engendrant de terribles mutilations faciales. La lutte contre les leishmanioses est basée traditionnellement sur le diagnostic précoce et le traitement. En raison du coût très élevé du traitement, les travaux ont porté sur la recherche de nouvelles molécules thérapeutiques et sur une possible prévention de la maladie.

Les résultats majeurs des recherches conduites par l'ORSTOM et l'IBBA avant 1990 sont les suivants :

- La recherche d'un traitement alternatif a conduit à la mise en évidence de l'activité antileishmanienne de quinoléines extraites de *Galipea longiflora*, plante utilisée traditionnellement dans ce but chez les Chimane (ethnie de Bolivie). Ces molécules ont fait l'objet d'un dépôt de brevet en 1992.

- L'étude des possibilités de prévention contre les leishmanioses a nécessité d'amples travaux épidémiologiques préliminaires qui ont conduit à faire l'inventaire des espèces de phlébotomes en Bolivie, avec description de nombreuses nouvelles espèces. Dans le cadre de ces travaux, le premier cas de leishmaniose viscérale dans les Yungas (Bolivie) a été décrit, et son vecteur formellement identifié (*Lutzomyia longipalpis*), tandis que le vecteur probable de la leishmaniose tégumentaire a été détecté (*Lutzomyia nuneztovari anglesi*). L'ensemble de ces travaux a été couronné par le Prix Broden-Rhodain, décerné par l'Institut de Médecine Tropicale de Belgique.

## **Programmes sur les substances naturelles d'intérêt thérapeutique**

### **Usages de la feuille de coca et santé publique**

Une étude multidisciplinaire a été réalisée à l'IBBA en coopération avec l'ORSTOM et le CNRS sur les « Usages de la feuille de coca et santé publique », qui comprend deux champs disciplinaires : la phytochimie (étude des différents morphotypes et races chimiques de *Erythroxylum coca* var. *coca*) et la physiologie (études des effets de la mastication (acullicu) de la feuille de coca sur l'adaptation à l'altitude et sur l'effort physique).

Les objectifs généraux furent : 1) identifier et caractériser les éléments qui permettraient de différencier l'usage traditionnel de la feuille de coca de son usage illégal, 2) étudier les usages traditionnels des feuilles de coca ayant une répercussion sur la santé publique en Bolivie.

L'étude phytochimique s'est effectuée en 3 étapes : rassemblement de données historiques, récolte d'échantillons végétaux, extraction et dosage des alcaloïdes.

L'étude physiologique fut réalisée sur deux groupes de paysans de l'Altiplano bolivien : consommateurs habituels et non consommateurs de feuilles de coca. Une enquête préliminaire sur l'alimentation et la consommation de feuilles de coca, ainsi qu'un examen clinique, ont permis la sélection des sujets pour l'étude. Les effets de la mastication ont été mesurés simultanément sur l'exercice musculaire, la sensibilité respiratoire, le métabolisme du glucose et les paramètres hématologiques. Dans le groupe des consommateurs, les épreuves de laboratoire ont été réalisées avant et après la mastication des feuilles de coca, en respectant à chaque fois les pratiques traditionnelles rapportées par l'enquête.

Les conclusions de l'étude sont les suivantes :

- L'extraction et la séparation des alcaloïdes des échantillons de feuilles de coca nous indique qu'il existe 3 alcaloïdes naturels (cocaïne, les dérivés cis et trans cinnamoylcocaïne) dans la variété *Erythroxylum coca* var. *coca* cultivée en

Bolivie. Pour chaque alcaloïde, la concentration dans les feuilles augmente ou diminue en fonction de la saison de la récolte. Les zones de collecte (Yungas et Chapare) n'influent pas sur les concentrations de la cocaïne comme des alcaloïdes minoritaires. Cette donnée ne permet pas de séparer les zones de culture traditionnelle des zones de culture excédentaire.

- En physiologie, on a observé que la capacité à produire du travail musculaire n'augmente pas avec la mastication de la coca. Par contre l'endurance est augmentée. La mastication augmente également la stimulation des centres respiratoires. La consommation de feuilles de coca provoque une hypoaggrégation plaquettaire. L'épreuve d'absorption du glucose suggère que la coca exerce un effet modérateur sur sa consommation. Enfin, la mastication n'influence pas la consommation journalière d'aliments et on trouve de la cocaïne à des doses modérées dans le sang des mâcheurs de coca.

Ce travail a fait l'objet de 7 publications internationales et la parution d'un livre de synthèse en langue espagnole est prévue dans les prochaines semaines.

## **Recherches en sciences humaines**

### **Recherches en sciences sociales et économiques**

Les recherches en sciences humaines, sociales et économiques, menées en Bolivie entre 1983 et 1994, l'ont été dans le cadre du Grand Programme de l'ORSTOM intitulé « Maîtrise de la sécurité alimentaire », appartenant à l'unité de recherche « Modèles et réalités du développement ». Elles ont été réalisées successivement par plusieurs chercheurs de l'ORSTOM, économistes, nutritionnistes, géographes et économistes, en coopération avec des chercheurs boliviens appartenant à des institutions nationales variées : INAN, CERES, INE, faculté d'agronomie de l'UMSS de Cochabamba, ou encore avec des ONG de recherche (Unitas, CIADE).

Le thème commun aux différents programmes fut celui des stratégies des acteurs locaux du système alimentaire dans un contexte de pauvreté, les acteurs étant considérés aussi bien en milieu rural qu'en milieu urbain.

D'un point de vue méthodologique, ces recherches ont mis à profit l'expérience de leurs auteurs précédemment acquise en Afrique sur ce thème, mais leur originalité tient ici à leur caractère collectif et pluridisciplinaire : programmes toujours définis et exécutés au sein d'équipes mixtes constituées de chercheurs français et boliviens, association constante d'économistes, sociologues, géographes, statisticiens, nutritionnistes, etc.. Tous les programmes ont été menés à leur terme et ont donné lieu à des publications d'ouvrages et d'articles (en espagnol et/ou en français). Un ouvrage synthétique reprenant l'ensemble des résultats sera prochainement publié en France.

Les recherches ont porté sur les points suivants :

- En milieu rural : l'adaptation des paysans à la crise, la consommation alimentaire et la situation nutritionnelle dans la zone rurale du département de La Paz, l'émigration rurale et les mutations des sociétés paysannes andines de

Cochabamba, l'impact alimentaire et nutritionnel de certaines interventions en milieu rural.

- En milieu urbain : les variations des salaires et des prix des aliments à La Paz, le réseau urbain et les villes de Bolivie, les migrations et les stratégies alimentaires dans la ville de El Alto, le bassin de collecte de lait de La Paz, la consommation alimentaire et la situation nutritionnelle dans les villes de La Paz, El Alto, Cochabamba et Santa Cruz.

- Au plan national : la consommation alimentaire en Bolivie, la production et l'industrie laitières, la malnutrition et les politiques agro-alimentaires, le système alimentaire bolivien, la sécurité alimentaire et son impact économique et nutritionnel.

Ces différentes recherches ont donc apporté des connaissances nouvelles et précises sur la question de la sécurité alimentaire en Bolivie. Elles constituent autant de contributions à la solution de l'un des problèmes cruciaux du pays.



## **Seconde partie : Les grands programmes en cours**

### **Grand Programme 21 : « Variabilité Climatique »**

#### **NGT : « Neiges et Glaciers Tropicaux » : Prospection, métrologie et évaluation de la ressource hydrique en hautes montagnes**

Dès le début des années 90, l'ORSTOM a conduit avec ses partenaires andins, en Bolivie, mais aussi au Pérou, en Equateur et au nord du Chili, des études hydroclimatologiques portant principalement sur un suivi de plusieurs glaciers, situés en Cordillère Royale de Bolivie, en Cordillère Blanche du Pérou et sur les volcans Antisana et Cotopaxi d'Equateur, et sur les précipitations solides et liquides d'altitude. A l'origine, ces études furent lancées avec des préoccupations essentiellement scientifiques, car ces glaciers sont d'extraordinaires « marqueurs » de la variabilité climatique (et particulièrement du « réchauffement global » en cours), qu'ils permettent de caractériser et mieux comprendre, et peut-être prédire, dans la zone particulièrement sensible, à proximité de l'Equateur, de contact entre les circulations atmosphériques hémisphériques nord et sud.

Rapidement, ces études ont intéressé des partenaires économiques, producteurs d'hydroélectricité, prestataires d'eaux potables, industrielles et agricoles, qui en assurent maintenant l'essentiel des charges d'équipement et d'entretien. Il faut en effet savoir que dans les Andes intertropicales les principales ressources en eau, et donc aussi en énergie électrique, sont issues des glaciers à très haute altitude qui, en jouant le rôle d'énormes réservoirs naturels, assurent la régulation et la pérennité de la ressource en eau, qui autrement serait directement dépendante de la variabilité pluviométrique annuelle et interannuelle. Mais ces glaciers, dans la plupart des cas bénéfiques, peuvent être aussi à l'origine de catastrophes glaciaires considérables, contre lesquelles ces études peuvent aider à se prémunir.

Les hydrologues, glaciologues et climatologues de l'ORSTOM, et leurs partenaires, se sont donc au cours de ces dernières années dotés de nouvelles compétences, qui leur ont permis d'équiper des bassins versants partiellement ou totalement glaciaires avec les plus hautes stations hydrologiques et climatologiques automatiques mondiales : station hydrométrique du Zongo en Bolivie à 4800 m, stations climatologiques du Zongo à 5200 et 5600 m et du Sajama à 6500 m en Bolivie, et leurs équivalentes au Pérou, en Equateur et au nord Chili. Ces dispositifs d'acquisition de données hydroclimatologiques en temps réel complètent des campagnes de terrain, où sont mesurés les paramètres de fonctionnement des glaciers, grâce à des réseaux de balises d'accumulation et d'ablation, et de balises de déplacement. Tous ces appareillages permettent l'évaluation de divers bilans de fonctionnement du glacier : bilan glaciologique, bilan hydrologique et bilan énergétique. L'analyse de ces bilans et leur modélisation autorisent, selon les divers scénarios de réchauffement planétaire, des simulations de l'avenir de ces glaciers, et des ressources en eau ou des risques associés, puis la généralisation de ces études à d'autres situations régionales voisines.

Avec des partenaires américains et européens, cette équipe s'est aussi spécialisée dans la réalisation de carottes de glace à haute altitude, carottages qui peuvent fournir des renseignements essentiels sur l'histoire du climat des 10 à 20 derniers millénaires. En

couplant ces résultats à d'autres méthodes paléoclimatologiques, il est ainsi possible de reconstituer l'histoire climatique régionale (températures et précipitations notamment) et donc de prévoir dans une certaine mesure l'avenir climatique régional en fonction du devenir climatique planétaire.

Ces équipes de l'ORSTOM, avec leurs partenaires du sud (IHH de l'UMSA, SENAMHI et COBEE en Bolivie) et nord-américains, français et européens, regroupés dans le programme NGT, disposent donc de compétences originales qui peuvent intéresser autant la communauté scientifique des climatologues, hydrologues ou glaciologues, que les maîtres d'oeuvre du développement socio-économique, énergétique et humain des régions andines intertropicales et en particulier de la Bolivie. Ce savoir faire est éventuellement transposable à d'autres situations comparables où les ressources en eau et énergétiques sont entièrement dépendantes d'environnements montagnards extrêmes.

## **Grand Programme 23 : « Grands Bassins Tropicaux : Dynamiques et Usages »**

### **Programmes sur le bassin amazonien**

#### **Hydrogéochimie du bassin amazonien en Bolivie**

Ce programme est le volet bolivien d'un programme plus vaste qui concerne l'ensemble du bassin amazonien, conduit par des chercheurs de l'ORSTOM et leurs partenaires brésiliens depuis Brasília. En Bolivie où le programme est localisé sur l'ensemble du bassin du rio Madeira, principal tributaire andin de l'Amazone, les objectifs scientifiques des études, initiées en mai 1996, sont les suivants :

- Déterminer les répartitions spatiales et temporelles des éléments majeurs, des sels nutritifs et des éléments traces, depuis les hauts bassins des Andes boliviennes jusqu'au fleuve Madeira, constituant majeur de l'Amazone.
- Evaluer le rôle des facteurs environnementaux tels que la géologie, le relief, la climatologie, la végétation, les sols ou l'anthropisation sur la répartition des éléments chimiques précités.
- Estimer les flux d'éléments métalliques parvenant par le Madeira à l'Amazone.

Certaines problématiques de recherche sont plus particulièrement mises en oeuvre en Bolivie, comme l'étude de l'impact des exploitations aurifères sur la qualité chimique des eaux et particulièrement leur contamination par le mercure utilisé par les orpailleurs. L'influence des phénomènes de stockage des sédiments, puis leur remise en suspension et leur transport, sont aussi des objets de recherche par l'étude de la signature géochimique des matières transportées. L'évaluation et la caractérisation des éléments traces apportés à l'Amazone par les tributaires du Madeira sont un point fort de cette recherche.

L'étude qualitative, poursuivie avec des laboratoires partenaires boliviens (UMSA-IHH et UMSA-IIQ), brésiliens (Laboratoire des radio-isotopes de l'Université fédérale de Rio de

Janeiro et Laboratoire de Géochimie de l'Université de Brasilia) et français (Laboratoire des Géofluides de l'Université Montpellier II, Laboratoire de Physique et Chimie Marine et Laboratoire de Géochimie et Métallogénie de l'Université Pierre et Marie Curie), s'appuie sur un réseau hydrologique amazonien quantitatif d'une douzaine de stations, rénové avec la contribution technique de partenaires boliviens (SENAMHI et SHNB). Le partenaire brésilien (DNAEE) contribue au programme par la mise à disposition du SENAMHI bolivien, avec le soutien technologique de l'ORSTOM, d'une dizaine de stations hydrométriques télétransmises par satellite.

L'achèvement de ce programme et le transfert de ses résultats aux partenaires boliviens est prévu pour la fin de l'année 1999.

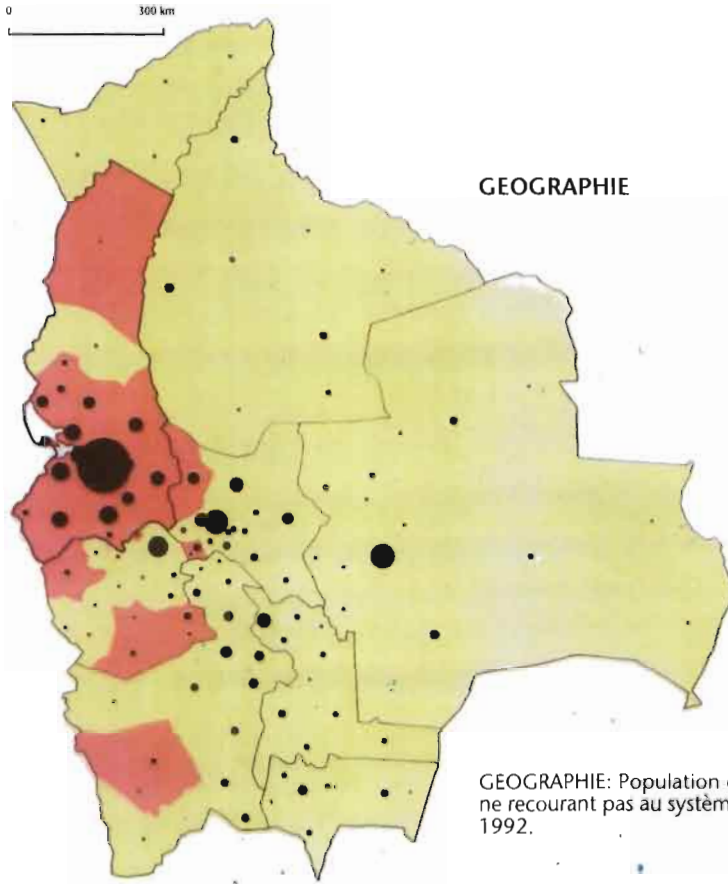
## **Dynamique des zones humides dans le bassin du fleuve Amazone**

Une des principales caractéristiques de l'Amazonie bolivienne réside dans le fait qu'une grande partie de sa zone centrale (« los Llanos ») est inondée durant 4 à 6 mois sur une surface de 100000 à 150000 km<sup>2</sup>, selon la variabilité du cycle hydrologique annuel. Cette vaste zone d'inondation, l'une des plus importantes du monde en surface et en durée, conditionne l'importance des ressources piscicoles de l'Amazonie bolivienne et l'avenir de l'élevage bovin, aussi sensible aux inondations qu'aux sécheresses. Or, la dynamique de cette inondation est encore fort mal connue : quelles sont les directions préférentielles de l'enneigement, la chronologie et la superficie de l'inondation en fonction de l'hydrologie annuelle ? Autant de questions auxquelles le programme devra répondre.

Le principal objectif de ce programme sur la « dynamique des zones humides de l'Amazonie bolivienne » se décline en : un suivi de la dynamique des inondations à l'échelle de la crue, l'étude de la variabilité spatio-temporelle des zones inondées (aux différentes échelles, saisonnière, annuelle et interannuelle de la crue), l'étude des processus de fonctionnement hydrologique des zones humides situées dans ces plaines inondables, la mise en place et la gestion du réseau hydrométrique télétransmis déjà cité ci-dessus, enfin la prévision et l'annonce de crues pour la ville de Trinidad, capitale de la région du Beni, c'est à dire de l'Amazonie bolivienne.

Ce programme, dont les outils préférentiels sont la télédétection classique et radar, est l'un des préalables obligés du programme présenté ci-après : « biodiversité aquatique et facteurs de contrôle en Amazonie bolivienne ». Il s'appuie sur un réseau de partenaires boliviens (le SENAMHI et le SHNB déjà cités, mais aussi l'ABTEMA et le SEMENA) et français (Laboratoire Commun de Télédétection du Cemagref-ENGREF à Montpellier et Centre d'Études Spatiales de la Biosphère à Toulouse).

Débuté en octobre 1996, ce programme couvrira une période de 5 années. A moyen terme, l'approche hydrologique par télédétection fournira la base de l'étude et du suivi de la dynamique spatio-temporelle de l'inondation et de la compréhension du fonctionnement des zones humides et des plaines inondables de l'Amazonie bolivienne. A plus long terme, cette approche hydrologique, avec la mise en place et la gestion du réseau hydrométrique télétransmis sur le haut bassin du Mamoré, fournira un modèle de prévision et d'annonce de crues pour la ville de Trinidad.



BIODIVERSITE: Spécimen de "Chuncuina", *Pseudoplatystoma tigrinum*.



HIDROBIOLOGIE: Chercheurs ichtyologues au laboratoire UTB de Trinidad.



NUTRITION: Mesure des capacités physiques, test de la bicyclette.



NUTRITION: Evaluation du développement psychomoteur, test de Bayley.



MALADIES PARASITAIRES: Un réduve, vecteur de la maladie de Chagas, dans l'acte de piquer.



PHARMACOGNOSIE: Champs de coca dans les Yungas.



MALADIES PARASITAIRES: Phlébotome femelle, vecteur de la leishmaniose.



PHARMACOGNOSIE: Spécimen de roucou, *bixa orellana*, espèce tinctoriale et médicinale.



## **Biodiversité aquatique et facteurs de contrôle en Amazonie bolivienne**

Le bassin du haut Madeira qui forme l'Amazonie bolivienne, couvre 724000 km<sup>2</sup>, soit environ 65 % du territoire. Cette immense région très peu peuplée est particulièrement sous exploitée. Il ne fait pas de doute cependant que ses ressources renouvelables sont potentiellement importantes (énergie hydro-électrique, élevage, agriculture, forêts, pêche, éco-tourisme). Si les connaissances scientifiques concernant la biodiversité et l'environnement sont loin d'être inexistantes, elles restent souvent incomplètes et dispersées. L'objectif de ce programme est donc d'en faire l'inventaire, de les synthétiser et de les compléter chaque fois que nécessaire, afin de pouvoir répondre aux questions que se posent décideurs et aménageurs de cette région privilégiée du futur développement bolivien.

Ce programme, effectué conjointement par l'ORSTOM et ses partenaires boliviens (UMSA et ses divers Instituts, SENAMHI, ABTEMA, SHNB) est par essence pluridisciplinaire. Interviennent en effet des hydrologues, hydrobiologistes, écologistes, botanistes, télédéTECTEURS, spécialistes des SIG (Systèmes d'Information Géographique) et des éco-régions. Les travaux, commencés en 1995, se poursuivront jusqu'à l'an 2000.

Au plan scientifique les objectifs sont les suivants :

- Comprendre le fonctionnement hydrologique et géochimique du bassin du haut Madeira et spécialement de sa zone d'inondation centrale.
- Déterminer l'impact sur l'environnement aquatique de l'exploitation aurifère (pollution par le mercure) et des rejets de la ville de La Paz.
- Déterminer les diverses hydro-écorégions amazoniennes en utilisant le support d'un système d'information géographique (SIG).
- Décrire la composition et la répartition des organismes aquatiques (poissons et invertébrés) en fonction des hydro-écorégions précédemment déterminées. Pour les poissons, le potentiel halieutique sera mis en évidence et les invertébrés seront utilisés comme indicateurs biologiques.

Au plan opérationnel, le projet apportera aux décideurs et planificateurs des réponses importantes aux principales questions liées au développement de la région :

- La prévision des crues et des superficies inondables facilitera la gestion des élevages, de l'agriculture, de la pêche et permettra de prévoir des mesures de protection pour les populations.
- La connaissance des pollutions chimiques, métalliques et bactériologiques, ainsi que des capacités de régénération naturelle du bassin, permettra une zonation des risques de contamination des populations par la consommation de l'eau et des poissons.
- Les cartes de la zonation hydro-écologique seront enfin d'un grand secours pour la planification du développement et l'aménagement du bassin.

# **Grand Programme 52 : « Conditions d'amélioration des situations nutritionnelles »**

## **Programmes sur la nutrition en Bolivie**

L'objectif des recherches développées depuis 1992 est de contribuer à la réduction des malnutritions et de leurs conséquences par la production de résultats scientifiques originaux, directement utilisables par les décideurs politiques et les responsables boliviens de la santé, tout en étant généralisables à un niveau plus large. Les recherches sont focalisées sur ce qui est modifiable par des actions spécifiques directes nécessaires pour mieux combattre les problèmes nutritionnels.

Les programmes de recherche portent principalement sur les deux problèmes nutritionnels majeurs de la Bolivie en terme de santé publique : les malnutritions modérées persistantes et les carences en micronutriments (en particulier le fer) qui ont un impact sur la mortalité et le développement global de l'enfant. Les individus mal nourris ont moins de chances d'acquérir une éducation de base, d'avoir une productivité satisfaisante, et de contribuer efficacement au développement de leurs familles, de leurs communautés et de leur pays. Cette perte considérable de capital humain pourrait être évitée. Permettre, par la recherche, d'améliorer l'état nutritionnel des populations boliviennes va dans le sens du développement du pays.

Les actions de recherche en cours visent à :

- Définir les seuils d'hémoglobine permettant le diagnostic de l'anémie en altitude.
- Etudier l'efficacité d'interventions comme : supplémentation intermittente en fer, fortification en fer d'un aliment local pour la lutte contre la carence en fer, supplémentation en zinc, et mesurer leur impact sur le développement de l'enfant (croissance staturo-pondérale, morbidité, développement des capacités intellectuelles et physiques).
- Définir les conditions d'une réduction de la forme la plus répandue de malnutrition qui se caractérise par un retard de croissance staturale.

La première action de recherche a montré l'inadéquation des valeurs seuils d'hémoglobine utilisées jusqu'alors pour le diagnostic de l'anémie en altitude qui amenait à sous-estimer la prévalence réelle des anémies. Une étude longitudinale avec supplémentation fer-folate a permis de définir de nouvelles valeurs seuils et d'établir la forte prévalence de l'anémie et de la carence en fer chez les femmes en âge de procréer et les enfants de 6 mois à 9 ans de l'Altiplano bolivien. Ces résultats ont contribué à la décision des autorités sanitaires de Bolivie de promouvoir un plan d'action national de lutte contre la carence en fer.

L'unité de nutrition IBBA/ORSTOM a alors étudié l'impact de différentes stratégies d'intervention chez les jeunes enfants. L'apport hebdomadaire de fer s'est révélé aussi efficace en quatre mois que l'apport journalier avec un bénéfique coût-efficacité certain. La fortification en fer d'un aliment local, l'api (mélange de deux céréales et d'une légumineuse) donné quotidiennement aux enfants anémiques sous forme de déjeuner scolaire a permis d'améliorer en six mois leur statut martial et de traiter l'anémie chez la

plupart d'entre eux. Les capacités intellectuelles de ces enfants sont améliorées par les deux types d'intervention.

Une autre action a été menée afin d'étudier l'effet de l'introduction d'un aliment de complément à l'allaitement maternel sur la croissance de nourrissons. L'objectif principal de cette étude est de définir les bases scientifiques sur lesquelles fonder une intervention permettant de prévenir l'installation du retard de croissance. A court terme (3 mois), aucun effet bénéfique n'a pu être mis en évidence. L'impact à plus long terme (18 mois) est en cours d'analyse.

Ces recherches sont dans une phase de valorisation qui devrait se terminer fin 1997. Elles ont toutefois déjà conduit l'ORSTOM à intervenir dans le cadre d'expertises, au niveau du programme national bolivien de lutte contre la carence en fer et au niveau international sur le même thème, et ont permis la réalisation de 5 DESS, 2 DEA et 2 thèses de doctorat (Universités de Montpellier II, Bordeaux II et Paris VI).

Ce programme de recherche est conduit au sein de l'unité de nutrition de l'IBBA à La Paz, avec pour principaux partenaires : le Secrétariat de la Santé, Direction de la Femme et de l'Enfant, et le département de nutrition de l'UMSA à La Paz.

## **Grand Programme 53 : « Transmission, Expression, Prévention et Contrôle des Maladies à Vecteurs »**

### **Programmes sur les maladies tropicales**

#### **La maladie de Chagas**

Le Programme Cône Sud, qui regroupe les six pays les plus au sud de l'Amérique Latine, préconise contre *Triatoma infestans* l'usage prioritaire d'insecticides, suivi ou accompagné de mesures touchant à l'amélioration de l'habitat. Depuis 1991, ce programme a enregistré des succès importants, voire complets, au Brésil, en Uruguay, en Argentine, au Chili et au Paraguay. Il débute en Bolivie où la présence exceptionnelle de foyers sylvestres de *T. infestans* a fait craindre des réinfestations rapides.

De nouvelles recherches sur *T. infestans*, seul vecteur significatif en Bolivie, ne sont plus nécessaires pour entreprendre une lutte antivectorielle, mais restent requises pour appuyer la phase de surveillance entomologique, et sont pleinement justifiées sur les sites des foyers sylvestres de *T. infestans* en Bolivie. Ces recherches, financées par l'Union Européenne et par l'OMS (TDR), ont pour but de mettre au point des techniques capables d'identifier l'origine microgéographique des insectes, et d'assurer les études entomologiques classiques sur les vecteurs dits « de remplacement ». A cette fin, un réseau de chercheurs latino-américains a été créé (« ECLAT »), initiative qui reçoit l'appui de l'ORSTOM, du MAE français et d'une Fondation privée suisse.

Ce réseau ECLAT compte actuellement des partenaires dans tous les pays d'Amérique du Sud et Centrale, excepté la Guyane française, le Surinam, Bêlize, Panama et le Nicaragua. Il est coordonné par un chercheur de l'ORSTOM à La Paz affecté à l'IBBA en Amérique Latine et un chercheur du London School of Tropical Medicine and Hygiene à Londres en Europe.



La première étape met en oeuvre le réseau ECLAT dans le cadre du Programme Cône Sud dirigé contre *T. infestans*. L'aboutissement, très attendu, de cette première étape sera la mise en place en Bolivie du Programme Cône Sud. En effet la Bolivie est le seul pays du cône sud n'ayant pas encore trouvé les investissements nécessaires à la réalisation d'un programme complet de lutte antivectorielle. *T. infestans* est responsable de plus de la moitié des infections par *Trypanosoma cruzi* en Amérique Latine, tandis que la majorité des autres infections est due à l'activité de *Rhodnius prolixus*. Ce dernier est présent au nord du bassin amazonien et en Amérique Centrale. Dans une deuxième étape, l'expérience du réseau ECLAT sera mise à profit dans le cadre d'un nouveau programme international de lutte dirigé contre *R. prolixus* en Amérique Centrale.

## Les leishmanioses

En Bolivie, la population à risque représente environ un million de personnes, et bien qu'il n'existe pas de statistiques complètes sur l'incidence et la prévalence de la maladie, le nombre de cas répertoriés par an, au cours des trois dernières années, est en augmentation constante et inquiétante. Ces observations coïncident avec la mise en évidence d'une domestication de la transmission de la maladie, traditionnellement contractée dans les zones de forêts inhabitées. Non seulement les zones de colonisation, où l'homme entre en contact avec la nature sauvage, mais également les villages situés dans les régions occupées depuis longtemps, font à présent l'objet d'une recrudescence de la maladie. Ce n'est que récemment que le gouvernement bolivien a pris conscience de la gravité de la situation, en mettant en place un Programme National de Lutte contre la Leishmaniose.

Les stratégies actuelles de contrôle en matière de leishmaniose sont basées sur le diagnostic précoce et le traitement. Le coût élevé de ces interventions est souvent réhibitoire et justifie la recherche de mesures alternatives, basées sur la prévention et l'utilisation de nouveaux traitements. En matière de prévention, est évalué l'effet de mesures susceptibles d'être prises en charge par les communautés elles-mêmes et visant à réduire la fréquence des contacts entre l'homme et le vecteur. Ces mesures pourraient en principe diminuer l'incidence de la transmission des leishmanioses dans les villages, mais ne peuvent être conçues qu'à partir d'une connaissance approfondie du comportement des vecteurs et si possible du réservoir animal. Cette recherche reçoit l'appui de l'OMS (TDR).

Les programmes actuels de l'ORSTOM et de l'IBBA sur les leishmanioses comptent de nombreux partenaires : boliviens (Division Nationale d'Epidémiologie, La Paz ; UMSS, Cochabamba) et internationaux (Charles University, Prague, République Tchèque ; Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, Pérou ; Universidad central del Ecuador, Quito, Equateur).

En matière de prévention des leishmanioses, les recherches ORSTOM devraient aboutir dans deux ans à proposer au Programme National de Lutte contre les Leishmanioses en Bolivie des mesures de prévention destinées à réduire l'investissement financier nécessaire à la prise en charge des patients. L'étape suivante devrait étendre l'expérience bolivienne aux pays du Pacte Andin, en particulier le Pérou et l'Equateur, dans lesquels des problèmes similaires sont rencontrés (transmission active de la leishmaniose dans les villages).

## **Programmes sur les substances naturelles d'intérêt thérapeutique**

Parmi les divers problèmes de santé publique rencontrés en Bolivie, la lutte contre les maladies parasitaires et le traitement de ces dernières, en particulier la leishmaniose, le paludisme et la maladie de Chagas, représente un volet important. L'absence de traitement existant dans les cas de maladie de Chagas chronique, la toxicité des médicaments utilisés dans les cas de leishmaniose, la résistance de certaines souches de *Plasmodium* impliquées dans le paludisme, et la difficulté d'accès aux traitements liée au coût de ces derniers ont conduit le ministère de la santé bolivien, l'IBBA et l'ORSTOM à développer en coopération un programme intitulé « Substances Naturelles à Activité Antiparasitaire ». L'objectif de ce programme est d'évaluer, par le biais de moyens expérimentaux internationalement reconnus, les potentialités antiparasitaires de végétaux utilisés traditionnellement dans la pharmacopée bolivienne, afin de trouver de nouveaux composés qui soient plus actifs, moins toxiques et moins coûteux que les médicaments disponibles sur le marché. Ce type de recherche s'inscrit naturellement dans l'histoire de la découverte de molécules issues de végétaux qui jouent un rôle primordial en clinique humaine (quinine, digitaline, colchicine, artémisinine, taxol, etc..).

Ce programme, existant depuis 1989, a permis de réaliser l'inventaire ethnopharmacologique de différentes ethnies boliviennes (Chimane, Chacobo, Mosekene, Altono) et d'évaluer le potentiel antiparasitaire d'espèces végétales sélectionnées. En 1997, se terminera l'inventaire ethnopharmacologique des espèces utilisées dans l'ethnie Tacana. L'évaluation biologique de plantes sélectionnées dans cette ethnie est en cours de réalisation. En fonction de ces résultats, une étude chimique des espèces retenues sera effectuée, afin d'isoler les molécules actives responsables des activités biologiques observées.

Des publications scientifiques sont en cours de rédaction ainsi que des documents destinés aux communautés étudiées. Au cours des années à venir ce programme de recherche sera étendu à d'autres ethnies.

Ce programme compte de nombreux partenaires : boliviens (Faculté de Pharmacie et Faculté de Chimie de l'UMSA), internationaux (Universidad del Valle à Cali, Colombie ; Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Salud à Asunción, Paraguay ; Enda - Caribe, « Projet Tramil » regroupant la zone Caraïbe et Amérique Centrale) et français (Faculté de Pharmacie à Reims, URA CNRS, France).

En plus des financements de l'ORSTOM, ce programme a obtenu des financements du FONAMA/USAID (Fond National de Conservation du Milieu Ambiant), de la Coopération française bilatérale et de l'IFS.

## **Grand Programme : « Géographie »**

### **Les études géographiques en Bolivie**

Cette discipline de l'ORSTOM n'est apparue que récemment en Bolivie, avec l'affectation d'un premier chercheur fin 1991, suite à une convention avec l'UMSA. Le premier programme de recherche développé portait sur l'étude des dynamiques

spatiales des divers ensembles géographiques qui forment les Orientés boliviens. Un second programme, initié à partir de 1994 à partir des premiers résultats, correspondait à une demande de la CORDEPAZ. Celle-ci visait la réalisation d'un atlas cartographique de ce département basé sur les informations du recensement de 1992. Cette recherche était conclue en mai 1995 avec l'intervention d'un second chercheur, spécialiste de la cartographie automatique des données statistiques.

La bonne fin de cette recherche a entraîné, en 1995, une demande de participation des géographes de l'ORSTOM aux travaux propres à la réalisation de l'atlas national de Bolivie, sous la direction de l'IGM. La coopération demandée concernait l'élaboration des planches humaines, économiques et sociales de cet atlas. A la même époque, le Ministère du Développement Durable, suite aux travaux accomplis pour la cartographie du département de La Paz, souscrivait avec l'ORSTOM une convention prévoyant la confection des atlas départementaux des départements boliviens. Aujourd'hui en achèvement, celle-ci a motivé l'affectation à La Paz d'un ingénieur géographe pour une durée d'une année.

Les résultats obtenus doivent être appréciés en tenant compte de la situation propre à la géographie en Bolivie. Celle-ci est méconnue en général en Amérique Latine et particulièrement en Bolivie, où, de tous temps, elle a souffert soit d'une absence d'enseignement, soit d'un manque d'intérêt dans les sphères universitaires et administratives. Néanmoins, en 1989, le Recteur de l'UMSA avait décidé la reprise de cet enseignement au sein d'une unité spécifique créée dans le cadre de la Faculté de Géologie.

Au titre de la formation, les chercheurs de l'ORSTOM ont régulièrement assuré un enseignement dans les domaines de la géographie rurale et urbaine, domaines prioritaires vu les besoins du développement en Bolivie. Ils ont de même encadré les travaux de thèse des étudiants en fin de formation. Deux séminaires portant sur les méthodes géographiques et les instruments d'analyses ont été réalisés en 1992 et 1993 avec la participation de chercheurs, universitaires et professionnels socio-économiques. La première rencontre nationale des géographes boliviens a été organisée conjointement par l'UMSA et l'ORSTOM en 1995 avec une centaine de participants. Les actes de ces séminaires et de cette rencontre ont été publiés.

Au titre de la diffusion des connaissances, les chercheurs géographes ont déjà assuré la publication de l'Atlas du département de La Paz, la réalisation des planches humaines de l'Atlas National de Bolivie. Les planches des atlas régionaux sont achevées avec leurs graphiques et notices et doivent être remises au Ministère du Développement Durable avant la fin du premier trimestre 1997. 15 articles ou ouvrages ont été publiés depuis 1992 et un CD ROM est en cours de réalisation pour la présentation de ces résultats et leur analyse synthétique, ce qui sera l'objet d'un atelier spécifique lors du Congrès des Américanistes en juillet 1997 à Quito.

Les réformes engagées à partir de 1993 dans le cadre du programme bolivien de Participation Populaire ont montré la nécessité pour les instances en charge du développement de posséder un large appareil cartographique, à des échelles variées, permettant aussi bien d'établir un bilan de l'état des divers types de situation géographique du pays que de produire des diagnostics de situations. L'ORSTOM, en proposant une cartographie appuyée sur les données des recensements, a ainsi rencontré une audience correspondant aux intérêts scientifiques des partenaires.

# Troisième partie : Données techniques sur l'ORSTOM en Bolivie

## Personnels et financements

Dans les paragraphes qui suivent, sont fournis pour les six dernières années (1991 à 1996) les principaux renseignements concernant les budgets et les effectifs de l'ORSTOM en Bolivie :

**Tableau 1 : Personnels expatriés : chercheurs, ITA (Ingénieurs, Techniciens, Administratif), CSN (Coopérant du service National) et de recrutement local : administration et secrétariat, garage et chauffeurs.**

	1991	1992	1993	1994	1995	1996
<b>PERSONNELS EXPATRIÉS</b>						
<b>Chercheurs</b>	25	24	22	21	22	20
<b>Chercheurs en accueil</b>	1	1	2	2	2	2
<b>ITA</b>	5	5	6	5	6	7
<b>CSN</b>	1	2	3	5	5	6
<b>Total expatriés</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>33</b>	<b>35</b>	<b>35</b>
<b>PERSONNEL LOCAL</b>						
<b>Administration et Secrétariat</b>	7	6	6	6	6	7
<b>Garage et chauffeurs</b>	4	4	4	4	4	4
<b>Total recrutement local</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>11</b>

**Tableau 2 : Budgets annuels de l'ORSTOM en Bolivie (hors salaires du personnel expatrié) en francs**

	1991	1992	1993	1994	1995	1996
<b>Personnel de recrutement local</b>	568000	664630	759034	384600	514759	739498
<b>Coûts de fonctionnement</b>	1255000	1872598	1478231	1923849	2216670	1193212
<b>Coûts de déplacement</b>	1125000	936816	751284	647769	707364	699058
<b>Equipements et véhicules</b>	271000	466998	370092	620004	395004	566312
<b>Loyers</b>	101000	78914	99285	83250	96203	110505
<b>Total annuel</b>	<b>3320000</b>	<b>4019956</b>	<b>3457926</b>	<b>3659472</b>	<b>3930000</b>	<b>3308585</b>

## Les moyens et les outils du partenariat

Il a été tenté d'évaluer l'effort de formation fait par l'ORSTOM en Bolivie. Au cours des années, les « outils » du partenariat ont évolué. Il est donc difficile d'avoir une présentation homogène : par exemple, le protocole d'accord entre l'ORSTOM et l'UMSA à La Paz, permettant la mise en place de contrats de « Formation - Insertion », ne fut signé qu'en novembre 1994. Sont donc indiqués les nombres de personnes (sans indication de durée) qui ont bénéficié de formations diverses, rémunérées ou non, selon les rubriques suivantes :

- « Chercheurs associés » : l'ORSTOM fournit à des chercheurs boliviens confirmés des crédits de fonctionnement dans le cadre de leurs programmes.
- « Allocations de recherche » : l'ORSTOM verse à des étudiants boliviens des allocations de recherche pour leur permettre de suivre, en général en France, des compléments de formation (DEA, Thèses françaises, etc.).
- « CFI : Contrat de Formation - Insertion » : l'ORSTOM finance des stages de complément de formation à des chercheurs ou enseignants-chercheurs boliviens en France dans le cadre de leur cursus universitaire.
- « Thésards boliviens » : il s'agit de l'encadrement, par des chercheurs de l'ORSTOM dans le cadre de leurs programmes, de thèses de « licenciatura » ou de « maestria » pour des étudiants boliviens.
- « Stagiaires boliviens » : des étudiants boliviens effectuent des stages en Bolivie encadrés par des chercheurs de l'ORSTOM dans le cadre de leurs programmes.
- « Thésards français » : accueil d'étudiants français (ou non boliviens) en cours de thèse par l'ORSTOM en Bolivie dans le cadre de ses programmes.
- « Stagiaires français » : accueil d'étudiants français (ou non boliviens) en stage par l'ORSTOM en Bolivie dans le cadre de ses programmes.

**Tableau 3 : Moyens et outils du partenariat de l'ORSTOM en Bolivie**

	1993	1994	1995	1996
<b>BOLIVIENS</b>				
Chercheurs associés	1	2	1	2
Allocations de Recherche	1	3	2	3
CFI	0	1	4	2
Thésards	8	6	9	3
Stagiaires	1	13	10	10
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>20</b>
<b>FRANÇAIS ET NON BOLIVIENS</b>				
Thésards et Allocataires	1	2	3	4
Stagiaires	3	5	3	8
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>12</b>

## Liste des sigles utilisés

ABTEMA : Association Bolivienne de Télédétection pour le Milieu Ambient  
AIEA : Agence Internationale pour l'Energie Atomique (Vienne)  
BCRD : Budget central de recherche développement  
BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières  
CERES : Centre d'Etude de la Réalité Economique et Sociale  
CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique  
COBEE : Compagnie Bolivienne d'Energie Electrique  
CONAPHI : Comité National pour le Programme Hydrologique International  
CORDEPAZ : Corporation de Développement de La Paz  
CORDEBENI : Corporation de Développement du Beni  
CRIN : Centre de Réhabilitation Immuno-Nutritionnelle  
DEC : Département « Eaux Continentales »  
DES : Département « Santé »  
DIST : Direction de l'Information Scientifique et Technique  
DNAEE : Département National des Eaux et Energie Electrique  
DRCST : Direction Régionale de la Coopération Scientifique et Technique (Caracas)  
ENGREF : Ecole Nationale du Génie Rural et des Eaux et Forêts  
ENSO : Phénomène « El Niño Southern Oscillation »  
IBBA : Institut Bolivien de Biologie d'Altitude  
IBTA : Institut Bolivien de Techniques Agricoles  
IFEA : Institut Français d'Etudes Andines  
IFP : Institut Français du Pétrole  
IFS : International Foundation for Science  
IGM : Institut Géographique Militaire de Bolivie  
IHH : Institut d'Hydraulique et d'Hydrologie  
IIQ : Institut de Chimie  
IIE : Institut d'Ecologie  
INAN : Institut National d'Alimentation et Nutrition  
INE : Institut National de Statistique  
MAA : Département « Milieux, Activités Agricoles »  
MAE : Ministère français des Affaires Etrangères  
NGT : Programme « Neiges et Glaciers Tropicaux »  
OMS : Organisation Mondiale de la Santé  
SEMENA : Service National d'Amélioration de la Navigation en Amazonie  
SENAMHI : Service National de Météorologie et Hydrologie  
Sergeomin : Service Géologique et Minier  
SHNB : Service Hydrographique de la Marine Bolivienne  
SUD : Département « Sociétés, Urbanisation, Développement »  
TOA : Département « Terre, Océan, Atmosphère »  
UMSA : Université Principale de San Andrés (La Paz)  
UMSS : Université Principale de San Simón (Cochabamba)  
UE : Union Européenne  
UTB : Université Technique du Beni (Trinidad)  
YPFB : Société des Pétroles Boliviens