

HiBAm - Bolivie : Hidrologia da Bacia Amazonica

COMPTE-RENDU DE MISSION 'MAMORE 2000'

DU 31 AOUT AU 26 SEPTEMBRE 2000

IRD - BOLIVIE

Laurence MAURICE BOURGOIN

Coopération avec l'Univ. de Washington

CAMPAGNE D'ECHANTILLONNAGE D'EAU ET DE SEDIMENTS
DANS LA PLAINE D'INONDATION DU RIO MAMORE



INSTITUT DE RECHERCHE
POUR LE DEVELOPPEMENT
**IRD (anciennement
ORSTOM) Bolivia**



UMSA - IIQ

SENAMHI

SERVICIO
HIDROGRAFICO
DE LA NAVALE

Destinataires

- ✓ J.L. GUYOT, Responsable Programme HiBAm, UMR LMTG, Toulouse
- ✓ P. SEYLER, Programme HiBAm, IRD Brasilia, Brésil
- ✓ B. POUYAUD, Représentant de l'IRD en Bolivie
- ✓ J.P. CARMOUZE, Futur Représentant de l'IRD en Bolivie
- ✓ P. FRAIZY, Programme HiBAm, IRD-Bolivie
- ✓ L. BOURREL, Programme BIOBAB, IRD-Bolivie
- ✓ J.F. RENNO, Programme BIOBAB, IRD-Bolivie

1 - Objectifs de la mission et méthodologies

Cette mission, réalisée en Bolivie dans le cadre du programme HiBAm, s'est déroulée en collaboration avec des chercheurs des Universités de Washington et de Seattle, spécialisés en géomorphologie des grands fleuves. La mission a été organisée par Rolf Aalto, étudiant en PhD à l'Université de Washington, sous financement NSF et par moi-même. L'encadrement scientifique de Rolf fut assuré par Thomas Dunne, également présent au cours de la mission.

Cette mission faisait suite à la première réalisée en septembre dernier dans la plaine d'inondation du Beni (cf. CR de mission correspondant) et pour laquelle nous sommes en train d'interpréter les résultats de mercure et de Pb²¹⁰ analysés dans les carottes échantillonnées spécifiquement pour HiBAm. Les 1^{ers} résultats paraissent tout-à-fait prometteurs, tant sur le plan géomorphologique (estimation des taux de dépôt depuis Rurrenabaque jusqu'à sa confluence avec le rio Madre de Dios) que sur l'histoire de la contamination par le mercure de ce bassin à l'échelle du siècle.

Nos objectifs sont l'étude du rôle de la plaine d'inondation dans les transferts de sédiments mais également l'étude de l'histoire de la contamination par le mercure du bassin amazonien Bolivien. Pour ce faire nous avons couplé aux carottes de sédiments réalisées dans la plaine d'inondation du rio Mamore depuis l'Ichilo à Puerto Villaroel jusqu'à sa confluence avec le Madre de Dios, des échantillons d'eau et de sédiments de surface.

L'objectif scientifique principal de Rolf Aalto est l'étude des taux d'érosion et de sédimentation des principaux tributaires du rio Madeira avec estimation du « sediment budget » pour les rios Beni, Mamore et Madre de Dios. Il souhaite estimer la part de sédiments déposés dans chaque plaine, ainsi que les sites principaux de dépôt, et le rôle des « oxbow lakes » dans ce processus.

Ils ont développé un modèle quantitatif à méso-échelle de transport de sédiments dans le chenal principal et la plaine d'inondation de rivières non anthropisées qu'il souhaiteraient appliquer au cas des rios Beni, Mamore et Madre de Dios.

Méthodologie (extraits de leurs messages) :

- 1) Landsat, radar, and the new high-resolution (25m) SRTM DEM for the basin. These data will establish a temporal and spatial framework for channel change and 'meso-scale' hydraulic geometry. We have most of these data in hand.
- 2) Field surveys of channel geometry, longitudinal profiles, and floodplain transects at key locations throughout the basin. We intend to complete these in the next two years, using our survey-grade GPS system.

Il mesure tout le long du chenal l'altitude du niveau de l'eau grâce à un GPS différentiel (Trimble) avec une précision de 1 à 2 m (annexe 2). Cette information est particulièrement intéressante pour mettre en évidence les sites de dépôt préférentiel (on a pu observer par exemple que le profil du chenal du rio Beni n'est pas régulier et de nombreux paliers ont pu être mis évidence notamment à Rurrenabaque).

- 3) A series of 1m deep sediment cores taken from the a number transects across the floodplain in key locations. Back at the University of Washington, we will measure these cores for Pb-210, and granulometry. The goal is to establish deposition rates for a variety of floodplain environments and channel configurations, so that we can calibrate our numerical model.

La mesure de l'activité du Pb²¹⁰ est réalisée par spectrométrie alpha selon une technique nouvelle, plus précise car elle permet d'affiner la mesure sur la fraction fine (argiles) des sédiments.

- 4) Granulometry, bank-height, and water depth surveys at various locations.
 5) Sediment input, as published by Guyot, and also as predicted by our model for Andean erosion rates.
 6) Additional field data on sediment and water discharge, as collected by IRD, and SENAHMI. We would very much appreciate your help and advice with these data, as such data would be quite useful for model testing and development.

Mon objectif était de réaliser des carottages (0,65 m) en différents points de la plaine d'inondation, 13 au total ont été réalisés, afin d'étudier l'histoire du mercure déposé dans le bassin du Mamore sur le siècle, sachant qu'ils se chargeraient des datations. Une des questions scientifiques actuelles consiste à identifier les sources de contamination des sols tropicaux, entre les parts naturelle et d'origine anthropique, de localiser les endroits de sédimentation maximale dans la plaine et donc d'identifier les zones à risque et d'étudier la variabilité spatiale et temporelle de cette distribution.

2 - Participants

1^{ère} phase : du 1er au 12 sept. 2000

Laurence MAURICE BOURGOIN	IRD Hydrogéochemie, La Paz, Bolivie
Rolf AALTO	Geologist, PhD student, Univ. De Washington
Thomas DUNNE	Pr in Geomorphology of large rivers, Univ. of California, Sta Barbara
Mark SALAK	Geologist, Profesor in New Mexico
Vincent BARNAUD	IRD-Bolivie, stagiaire 4 ^{ème} année ISTOM
Pascal FRAIZY	IRD-Bolivie, responsable du bateau IRD
Fernando PROCUATTO	Elève Ecole militaire Navale, Pto Villaroel

2^{ème} phase : du 12 au 26 sept. 2000

Rolf AALTO	Geologist, PhD student, Univ. De Washington
Mark SALAK	Geologist, Profesor in New Mexico
Vincent BARNAUD	IRD-Bolivie, stagiaire 4 ^{ème} année ISTOM
Pascal FRAIZY	IRD-Bolivie, responsable du bateau IRD
Fernando PROCUATTO	Elève Ecole militaire Navale, Pto Villaroel

Chauffeurs

Julio Cesar SALINAS et Abdul CASTILLO

3 - Financement

Les frais de tournée sur le terrain de tous les participants ainsi que les frais d'essence des véhicules et du bateau IRD utilisés pour la mission ainsi que les « viaticos » du personnel Bolivien ont été pris en charge pour moitié par Rolf Aalto (financement NSF de sa thèse) et pour autre moitié par l'IRD (programme HiBAM-Bolivie).

4 - Déroulement de la mission

25 août: Arrivée de Rolf Aalto et Mark Salak

- Réunion à l'IRD: Préparation de la mission: définition des objectifs et de la méthodologie employée Mise en évidence des besoins – Organisation de la mission
- Achats (nourriture, fournitures et petit équipement pour 15 jours)

26 août – 31 septembre 2000 : Mission de l'équipe américaine dans le haut bassin du Grande

- Reconnaissance du haut-bassin du Grande. Pas de prélèvement.

31 août : La Paz - Cochabamba

- Derniers achats à la COSUBO (huile moteur, bougies, ...)

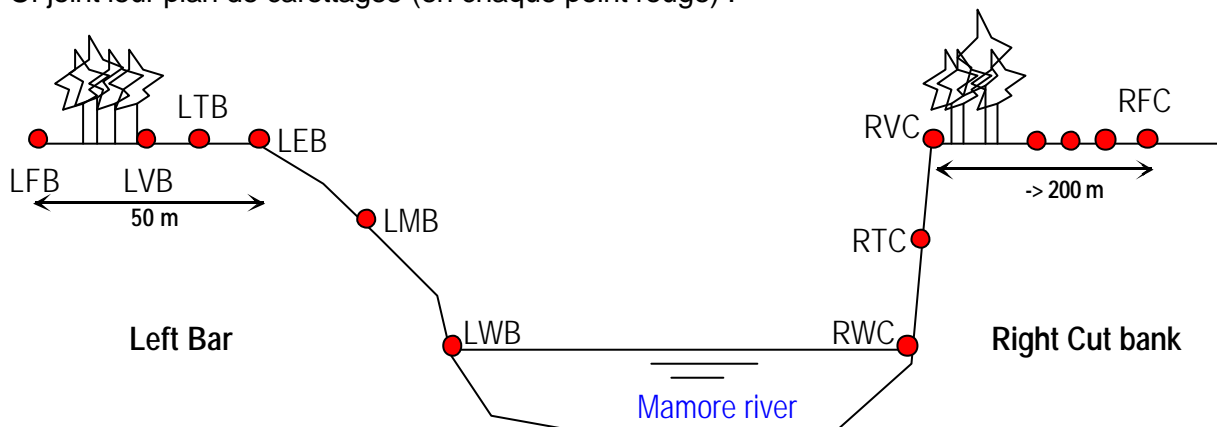
1^{er} septembre : Cochabamba – Puerto Villaroel

- Derniers préparatifs avant le départ – préparation du bateau.

2 – 9 sept. : Descente des rios Ichilo et Mamore - prélèvements d'eau et de sédiments

- Planification des transects à réaliser
- Réalisation de transects – prélèvements de sédiments et carottages aux points RFC ou LFB jusqu'à au maximum 200 m à l'intérieur de la végétation.

Ci-joint leur plan de carottages (en chaque point rouge) :



LFB : Left Floodplain Bar
 LVB : Left Vegetation Bar
 LTB : Left Top Bar (1/2 LEB – LVB)
 LEB : Left Edge Bar
 LMB : Left Middle Bar (1/2 LWB – LEB)
 LWB : Left Water Bar
 RWC : Right Water Cut bank
 RTC : Right Top Cut bank (top of sand)
 RVC : Right Vegetation Cut bank
 RFC : Right Floodplain Cut bank

Au total 20 transects ont été réalisés, avec carottages (dans la plupart des cas) de sédiments à 100 cm de profondeur sur chacune des rives (« Bar » = berge de dépôt et « Cut-bank » = berge érodée), dans la plaine d'inondation, jusqu'à 200 m à l'intérieur de la végétation.

En ce qui concerne les carottages réalisés pour l'analyse du mercure, ils ont été dupliqués au niveau du R/L FC ou le taux de dépôt est important.

- Prélèvements d'eau de surface (cf. tableau ci-joint)
- Etude de 4 « oxbow lakes » encore connectés au chenal principal du rio Mamore. Profils longitudinaux et transversaux (mesure de la profondeur) et carottages de sédiments de fond. Des carottes pour l'analyse du Pb²¹⁰ couplée à celle du mercure, du C, N, Fe et Al et relevés de paramètres physico-chimiques ont été réalisés dans le lac n° 2. Chacun de ces lacs de méandres relié au Mamore était caractérisé par des eaux claires (très peu de suspensions et forte production phytoplanctonique). Au contraire, les lacs déconnectés du Mamore (que nous avons atteints à pied à partir de la plaine d'inondation) auraient tendance à être plus riches en carbone organique et à être le siège d'un développement important de plantes comme les jacinthes d'eau. Un prélèvement de ces plantes a été fait et conservé congelé. En effet, ces plantes peuvent être à l'origine d'une partie de la méthylation du mercure contenu dans les eaux (cf. travaux de Guimarães *et al.*).

9 septembre : arrivée à 'Los Puentes' nouveau port de Trinidad

- Jaugeages réalisés sur le rio Mamore (cf. résultats en annexe 1) au niveau d'une section stable depuis plusieurs années (d'après les cartes de Rolf), en amont de Trinidad. Présence d'un banc de sable en formation au milieu du chenal.
- Nuit à Trinidad

10 sept. : Carottages en aval de Trinidad

- Descente sur une 1h1/2 du rio Mamore jusqu'à une section stable du chenal. Réalisation d'un transect avec carottages de sédiments et mesure de l'élévation du rio.

11 sept. : Reunion au SEMENA de Trinidad et survol de la plaine d'inondation

- Réunion de 9h00 à 11h30 au SEMENA –

Participants : Lic. Oscar Moreno Bello (Sub-gerente), Luis Antonio Phillips Muñoz (jefe de Depto. Hidrografia), Rolf Aalto, Thomas Dunne et moi.

Nous leur avons présenté nos objectifs et méthodologie ainsi que les nombreuses cartes du Beni et du Mamore que Rolf avait établies à partir d'images Landsat.

Oscar Moreno nous apprend qu'une mission du SEMENA doit partir dans quelques jours pour un mois de relevés complets le long du rio Mamore.

Des discussions tenues, il a été décidé que :

L'Université de Washington s'engage à leur délivrer :

- Les cartes papier des rios Beni et Mamore établies à partir d'images Landsat de juin 2000 et sur lesquelles figurent les traces du chenal principal des années 1973, 1986 et 1993.
- Des images plus précises de la région de Trinidad
- Le profil en long de l'élévation de surface du rio Mamore relevée en septembre 2000 (Annexe 2).
- Les profils en travers réalisés en sept. 2000 sur le rio Mamore

L'IRD s'engage à leur faire parvenir :

- le compte-rendu de cette mission
- les résultats des jaugeages réalisés sur le Mamore en septembre 2000

Le SEMENA s'engage à nous faire parvenir :

- « Mapa de levantamiento » del rio Mamore avec la bathymétrie de 1994
- Résultats de leur campagnes de « levantamiento » de sept. 200 (profils en travers, bathymétrie, jaugeages, etc...)
- Données de hauteurs d'eau relevées depuis 1987 sur leurs 5 stations géo-référencées (2 relevés / jour depuis 1995) et sur leurs 7 stations intermédiaires non geo-référencées.
- « levantamiento de los BM » faits par l'IGM

- Survol avec le Capitan Balthazar pendant 1h1/2 de la plaine d'inondation en amont et aval de Trinidad ; on est remonté jusqu'au transect effectués entre les 8 et 11 sept.. Invités : Tom Dunne, Rolf A. et moi. (coût : 180 US\$ / heure)

12 sept. : Poursuite de la mission sans Tom D. ni moi

- Retour sur La Paz de Tom Dunne et moi en avion
- Départ pour le reste de l'équipe sur le Mamore

12 - 21 sept. : Descente du Mamore de Trinidad à Guayaramerin

- Poursuite des prélèvements d'eau, des carottages de sédiments dans la plaine d'inondation et des relevés de l'altitude du niveau de surface du rio.

21 sept. : Arrivée à Guayaramerin

- Rendez-vous avec Julio Cesar Salinas et Abdul Castillo

22 sept. : Jaugeage du rio Mamore en amont de Guayaramerin

- Jaugeage du rio Mamore (PF et VB)
- Déchargement du bateau par le reste de l'équipe

23 sept. : Prélèvements et jaugeages sur le Madre de Dios

- Remontée en Zodiac (PF, RA et VB) jusqu'à la station PCD de Miraflores – relevé des données hydrométéorologiques et jaugeages (cf. en annexe)
- Prélèvement d'eau de surface et de sédiments de berge – relevé de l'altitude du niveau de l'eau.

24 sept. : Prélèvements et jaugeages sur le Beni

- Prélèvement d'eau de surface et de sédiments de berge sur le rio Beni en amont et en aval de la confluence avec le rio Madre de Dios (VB).
- Jaugeages sur le rio Beni en amont et en aval de la confluence avec le Madre de Dios (PF et JCS). Résultats en annexe.

25-26 sept. : Retour des 'Américains' à La Paz

- Avec Abdul Castillo
- PF, JCS et VB : Récupération du Zodiac laissé la veille au soir sur le rio Beni en surveillance à une famille de 'campesinos' (pb avec le moteur 25 Cv)
- Aide à la préparation du bateau (achat d'essence et d'huile)

26 sept. : Retour à La Paz de Vincent Barnaud et JC Salinas

- Retour directement en 21 heures car des 'bloqueos' étaient annoncés sur la route et JCS avait un 'compromiso' pour le lendemain.

27 sept. – 3 octobre : Retour de Pascal Fraizy et Fernando à Pto Villaroel

- Rien à signaler

Le 'Jichingu' est amarré à Loma Suarez, sous la surveillance de la Fuerza de Tarea. Le moteur (55 Cv), une nourrice et tout le petit matériel (caisse à outils, huile de vidange, 3 batteries, etc...) ont été laissés chez Laurent Lauzanne (les bougies ont été changées tous les 10 jours, les carburateurs nettoyés, etc...); le reste du matériel (bidons d'essence, planchers du bateau, sièges de camping, tréteaux, glacière 'isopore', bidon de 60 L d'eau) a été laissé dans le 'deposito' du SEMENA de Trinidad.

Consommation essence du 'Jichicingu' avec moteur 55 Cv + trajets en Zodiac (pour relevés des lacs de méandres et prélèvements dans les tributaires)

Pas de grande différence de consommation notée entre la remontée du rio à vide et la descente le bateau chargé et le Zodiac à couple.

Pto Villaroel – 'Los Puentes'	660 km	600 L
'Los Puentes' - Guayaramerin	850 km	1000 L

Consommation moyenne : 1 L/km

Moteur : 3600 a 4000 trs/min.

5 - Premiers résultats

Cette mission MAMORE 2000 a permis d'échantillonner, pour la première fois, des carottes de sédiments déposés dans la plaine d'inondation du rio Mamore jusqu'à 1,00 m de profondeur.

Les carottes réalisées en duplicat pour l'analyse du Hg ont été conservées à 4°C sur place (dans un réfrigérateur installé sur le bateau).

Ces échantillons seront probablement analysés au laboratoire GEOTOP de l'Univ. du Québec à Montréal (C, N, Fe et Al réactifs, Hg total) ou à Brasilia si nous avons l'équipement; c'est à discuter entre nous !

Les analyses de Pb²¹⁰ sur les carottes IRD seront réalisées gratuitement par le laboratoire de Rolf Aalto, à l'Univ. de Washington.

6 - Conclusions

Cette campagne a à nouveau remporté un franc succès de la part des Américains ! Ils souhaitent renouveler l'expérience pour la troisième fois l'année prochaine sur le rio Madre de Dios, avec notre collaboration bien sûr. Je leur ai proposé de partir du Pérou, ce qui nous permettrait de pouvoir échantillonner depuis le piémont péruvien. Bernard Pouyaud, en place à Lima, pourrait nous obtenir les accords de navigation côté péruvien et du passage de la frontière avec la Bolivie. Cette prochaine campagne serait prévue entre août et septembre 2001.

Ils mettent à notre disposition des cartes de tout le bassin amazonien Bolivien réalisées à partir d'images Radar et Landsat, les résultats des analyses isotopiques réalisées sur les carottages du Béni, le profil en long des rios Beni et Madre de Dios et d'autres infos si nous le souhaitons.

Ils souhaitent vivement collaborer au niveau des publications à sortir bien sûr ; j'espère que cette campagne portera ses fruits scientifiques, ce, d'autant que les intérêts sont communs ! Des résultats obtenus sur les carottages de la plaine d'inondation du rio Beni, nous avons déjà prévu deux papiers que nous souhaiterions commencer à rédiger dès le début 2001 :

- « sediment budget in the Beni River floodplain » à écrire entre nous : Jean-Loup G., Rolf A., Tom D., moi et + si affinités !
- « Distribution and history of the mercury in the Beni river basin » : moi, Rolf A., Jean-Loup G., Patrick S.

Dans l'attente de vos remarques et commentaires,

Bien à vous,

Fait à La Paz, le 10 octobre 2000

Laurence MAURICE BOURGOIN

**Echantillonnage bassin MAMORE - Plaine d'inondation - SEPT. 2000
(Coopération Univ. Washington)**

Code	Rio	Lieu	Longitude W	Latitude S	Date	Heure	Débit (m3/s)	Temp (°C)	Cond (µS/cm)	TDS (ppm)	pH	MES (mg/l)
M2	ICHILO		64°50'37,8"	16°44'12,5"	02/09/00	13:00		20	44,6	21,7	6,64	1107
M10	CHAPARE		64°46'05,3"	15°57'59,8"	04/09/99	15:00		22,4	243	123	7,44	343
M12	GRANDE		64°40'55,7"	15°52'14,5"	05/09/99	10:30		23,3	475	239	7,74	161
Ox2	MAMORE	Oxbow lake	64°72'16,7"	15°68'82,5"	06/09/99	10:30		27,2	260	131	8,19	8
M17	MAMORE	Amont SECURE	64°53'16,23"	15°23'35,1"	07/09/99	11:00		24	122,9	61,7	7	237
M21	SECURE		64°58'01,7"	15°14'18,6"	08/09/99	11:35		24,7	88,3	44,5	7,07	182
YA	YACUMA		65°21'05,2"	13°41'34,0"	16/09/99	10:30		25	217	108	7,26	76
M47	MAMORE	Amont Pto Siles	65°02'06,4"	13°02'02,2"	17/09/99	14:50	1543	26,8	128,5	64,4	6,95	175
M61	ITENEZ		64°58'05,4"	12°00'28,6"	20/09/99	09:30		29	40,7	20,5	7,3	4
M66	MAMORE	Amont Guayara	65°21'46,3"	11°08'39,9"	21/09/99	12:15	1745	29,1	137,3	68,5	7,16	53
B2	BENI up	Amont Riberalta	66°15'12,9"	11°17'51,8"	24/09/99	14:15	877	31,1	131,2	66,6	6,7	258
MDD	MADRE DE DIOS	Miraflores	66°24'17,6"	11°05'54,4"	23/09/99	15:40	2410	29,3	79	39,7	6,4	367
B1	BENI down	Aval Riberalta	66°03'13,0"	10°58'09,8"	24/09/99	10:30	2870	29,5	81,1	40,1	6,95	440

Obs : la côte du rio Beni à Riberalta a baissé entre le 23 et 24 septembre 2000 d'environ 30 cm ; l'amorce de décrue a été observée dès le 23 septembre sur le Rio Madre de Dios (6 cm en 3 heures), ce qui explique que la somme des débits des rios Beni amont + Madre de Dios est inférieure (de 14%) au débit mesuré en aval de leur confluence.

ANNEXE 1

RESULTATS DES JAUGEAGES A L'ADCP

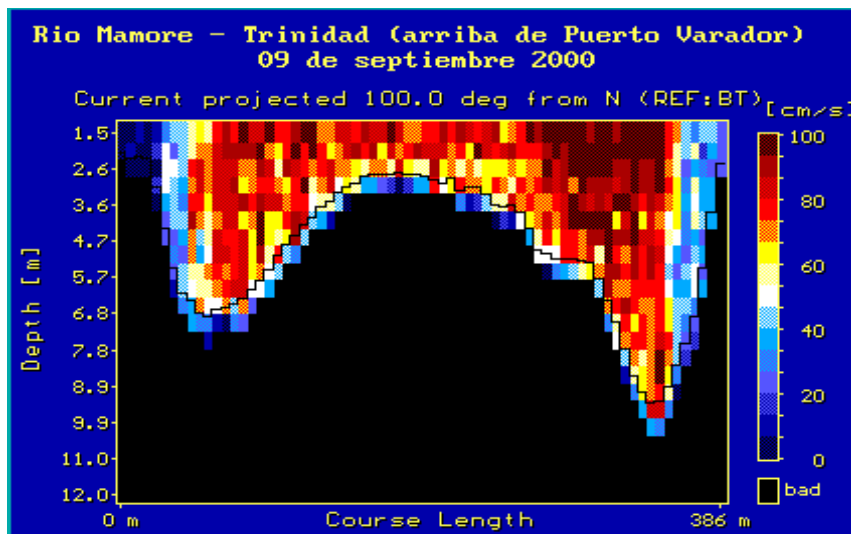
CAMPAGNE MAMORE 2000

Rio Mamore arriba del puerto de Trinidad ‘Los Puentes’
S14°56’28.3”
W65°00’50.1”

09 septembre 2000 (12h)

Q = 1543 m³ s⁻¹ ± 0,3%

Départ en rive gauche (on peut noter la formation d’un banc de sable au milieu de la section)
 L = 382 m

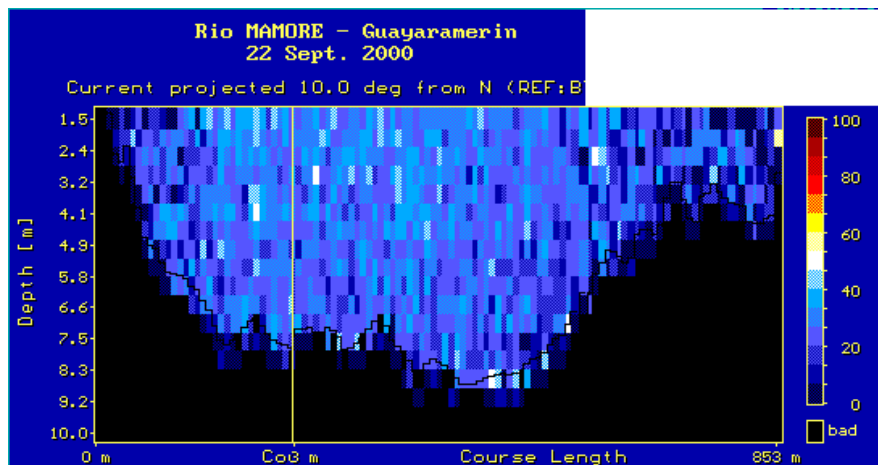


Rio Mamore arriba de Guayaramerin
S14°56’28.3”
W65°00’50.1”

22 septembre 2000 (11h)

Q = 1745 m³ s⁻¹ ± 0,2%

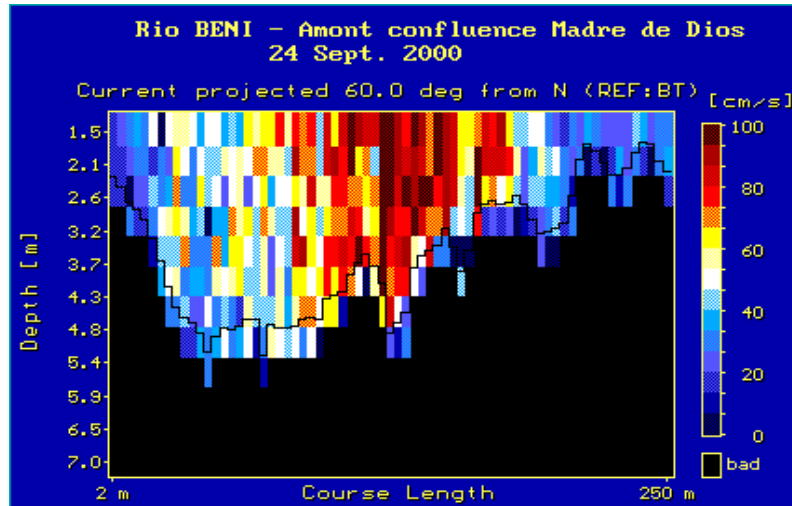
Départ en rive droite
 L = 860 m



Rio Beni arriba de la confluencia con el Madre de Dios
S14°56'28.3''
W65°00'50.1''

24 septembre 2000 (09h)

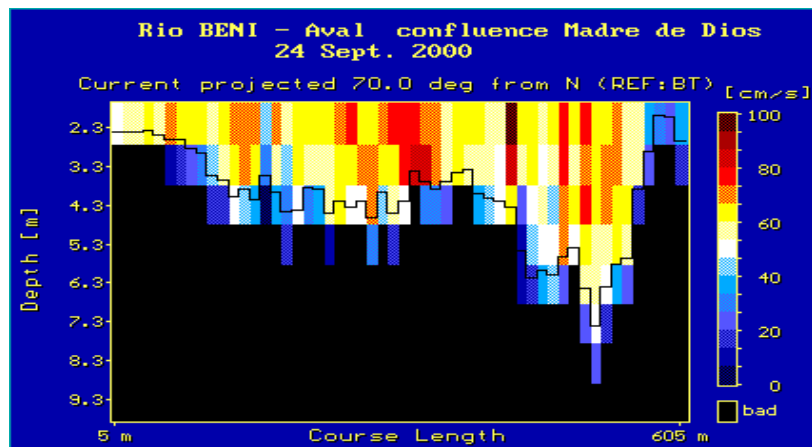
Q = 877 m³ s⁻¹ ± 2 %
 Départ en rive gauche
 L = 250 m



Rio Beni abajo de la confluencia con el Madre de Dios
S14°56'28.3''
W65°00'50.1''

24 septembre 2000 (08h)

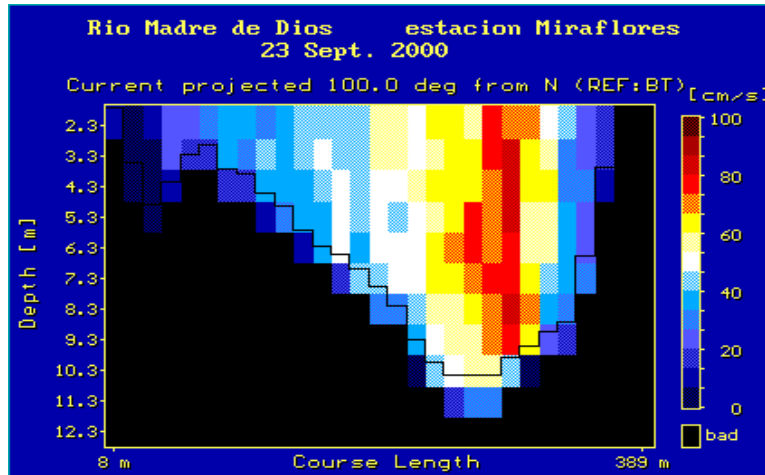
Q = 2870 m³ s⁻¹ ± 2 %
 Départ en rive droite
 L = 600 m



Rio Madre de Dios – Estación Miraflores (PCD)
S11°05'54.4''
W66°24'17.6''

23 septembre 2000 (15h)

Q = 2416 m³ s⁻¹ ± 2 %
 Départ en rive gauche
 L = 360 m



ANNEXE 2

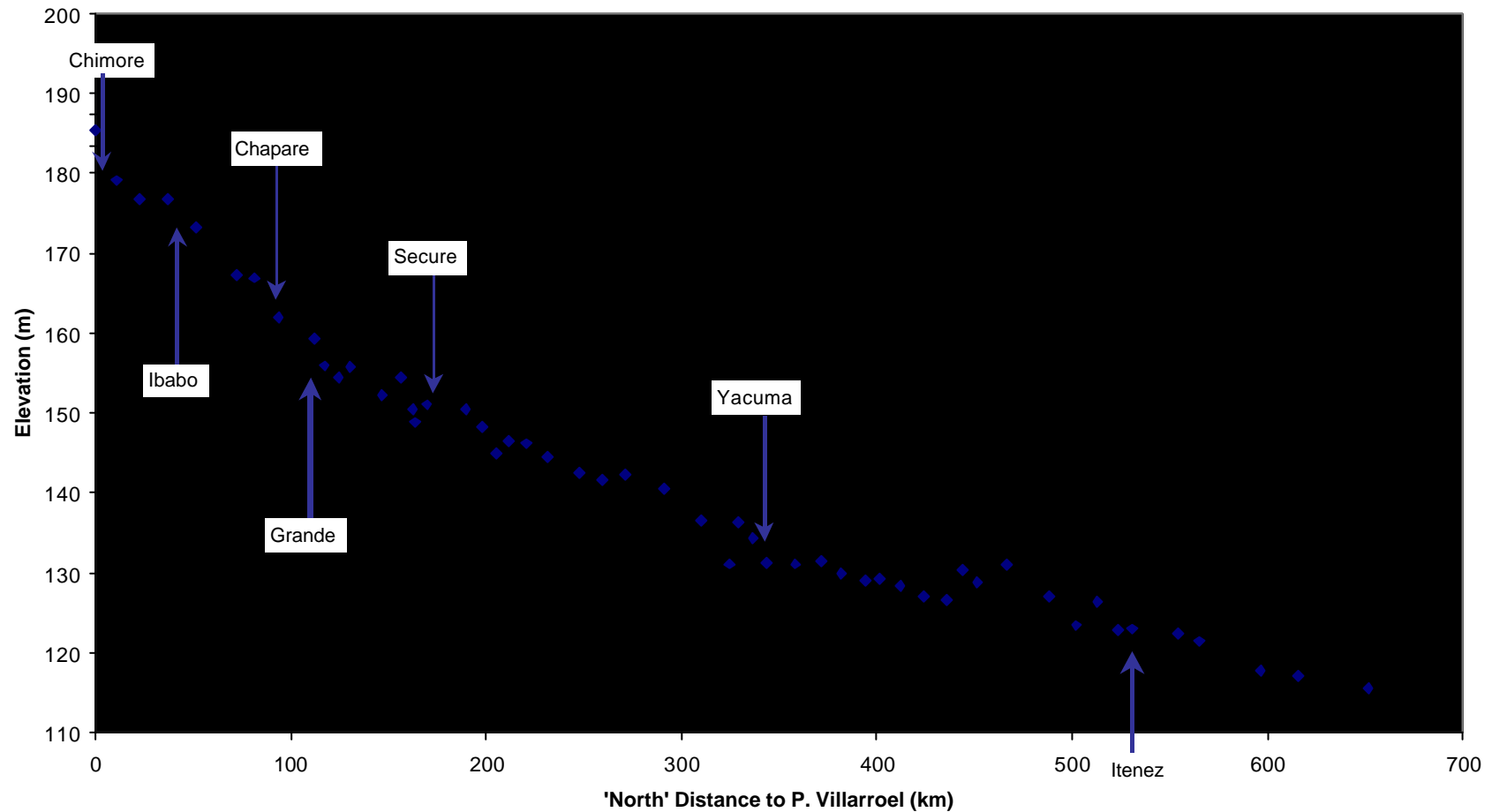
**PROFILS EN LONG DU RIO MAMORE
ALTITUDE
Et
SINUOSITE**

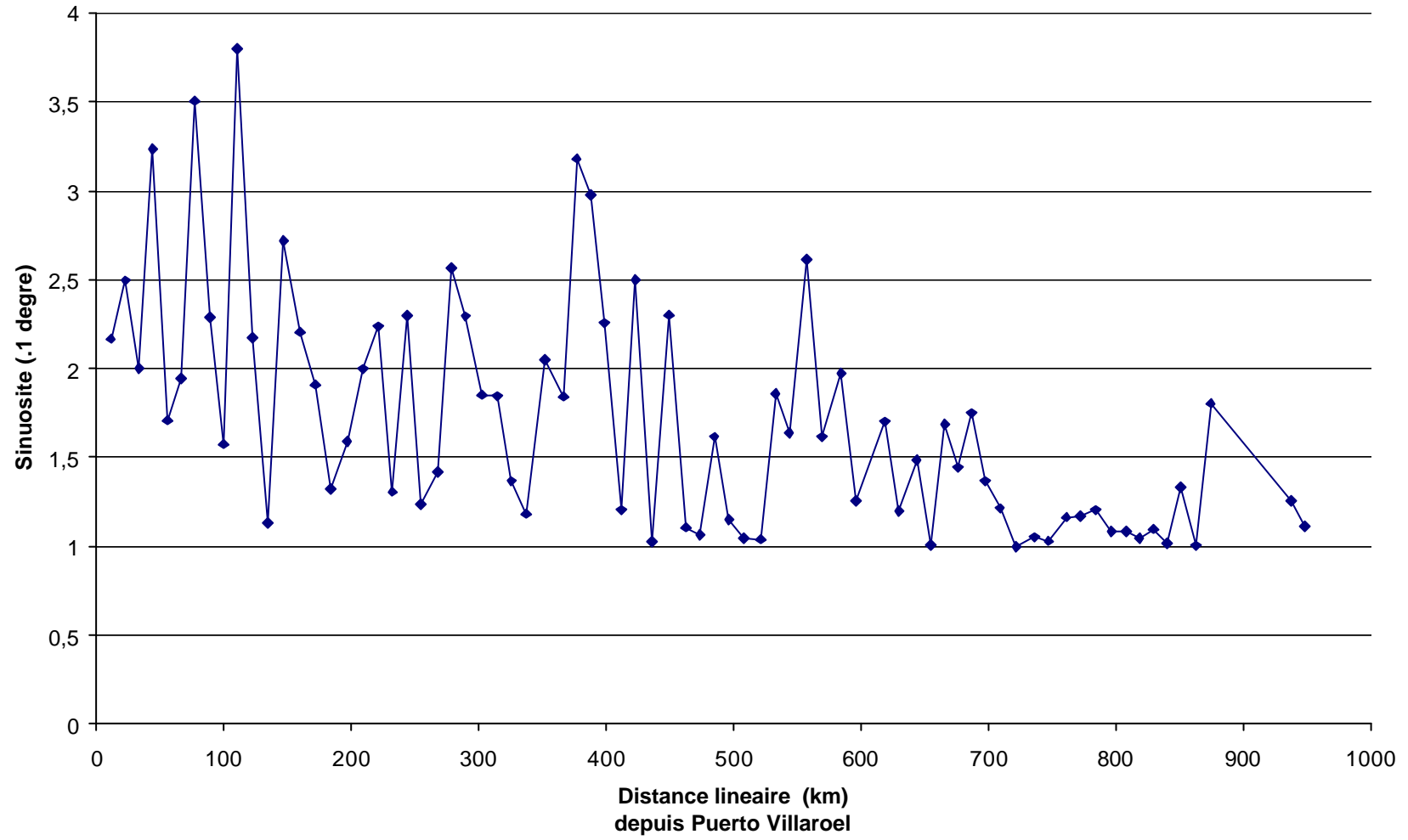
CAMPAGNE MAMORE Sept. 2000

Ces données ont été relevées par Rolf Aalto au cours de la campagne. Elles n'ont pas été publiées et nécessitent des calculs supplémentaires (de la précision, par exemple).

Esos datos (de Rolf Aalto) no fueron publicados todavía ya que necesitan tratamiento adicional (sobre la desviación estandar, por ejemplo)

Mamore Water Surface Elevation (filtered GPS)





HiBAm - Bolivia : Hidrología de la Cuenca Amazónica

INFORME DE MISION 'MAMORE 2000'

DEL 31 DE AGOSTO AL 26 DE SEPTIEMBRE 2000


IRD - BOLIVIA

Laurence MAURICE BOURGOIN

Cooperación con la Univ. De Washington

**CAMPAÑA DE MUESTREO DE AGUA Y DE SEDIMENTOS
EN LA LLANURA DE INUNDACION DEL RIO MAMORE**


INSTITUT DE RECHERCHE
POUR LE DÉVELOPPEMENT
IRD (antes
ORSTOM) Bolivia


UMSA - IIQ

SENAMHI
**SERVICIO
HIDROGRAFICO
DE LA NAVAL**

Destinatarios

- ✓ **J.L. GUYOT**, Responsable Programa HiBAm, UMR LMTG, Tolosa, Francia
- ✓ **P. SEYLER**, Programa HiBAm, IRD Brasilia, Brasil
- ✓ **B. POUYAUD**, Representante del IRD en Bolivia
- ✓ **J.P. CARMOUZE**, Futuro Representante del IRD en Bolivia
- ✓ **P. FRAIZY**, Programa BIOBAB, IRD-Bolivia
- ✓ **L. BOURREL**, Programa BIOBAB, IRD-Bolivia
- ✓ **J.F. RENNO**, Programa BIOBAB, IRD-Bolivia

1 - Objetivos de la misión y metodologías

Realizada en Bolivia en el marco del programa HiBAm, esta misión se desarrolló en colaboración con investigadores de las Universidades de Washington y de Seattle (EE.UU.), especializados en geomorfología de los grandes ríos. La misión fue organizada por Rolf Aalto, estudiante de PhD de la Universidad de Washington, con un financiamiento NSF, y por mí misma. El marco científico estuvo a cargo del Dr. Thomas Dunne, también presente en la misión.

Esta misión fue continuación de la primera, realizada en septiembre 1999 en la llanura de inundación del Beni (cf. Informe de misión correspondiente) cuyos resultados de mercurio y de Pb²¹⁰, analizados en las muestras de perforación muestreados específicamente para HiBAm, los cuales estamos interpretando. Los primeros resultados parecen completamente prometedores, tanto en el plano geomorfológico (estimación de los índices de depósito desde Rurrenabaque hasta la confluencia con el río Madre de Dios) como de la historia de la contaminación por el mercurio de esta cuenca a escala del siglo.

Nuestros objetivos son el estudio del rol de llanura de inundación como 'pozos' de sedimentos, así como también el estudio de la historia de la contaminación por el mercurio de la cuenca amazónica Boliviana. Para esto, hemos acoplado a las perforaciones de sedimentos realizadas en la llanura de inundación del río Mamoré, desde el Ichilo en Puerto Villarroel hasta su confluencia con el Madre de Dios, muestras de agua y de sedimentos de superficie.

El objetivo científico principal de Rolf Aalto es el estudio de los índices de erosión y de sedimentación de los principales tributarios del río Madeira con estimación del "sedimento presupuesto" en los ríos Beni, Mamoré y Madre de Dios. Su interés es de estimar la parte de sedimentos depositados en cada llanura, así como los sitios principales de depósito, y el rol de los "oxbow lakes" en este proceso.

Han desarrollado un modelo cuantitativo a meso-escala de transporte de sedimentos en el canal principal y la llanura de inundación de ríos no antropizados que desean aplicar al caso de los ríos Beni, Mamoré y Madre de Dios.

Metodología (extractos de sus mensajes):

- 5) Landsat, radar, and the new high-resolution (25m) SRTM DEM for the basin. These data will establish a temporal and spatial framework for channel change and 'meso-scale' hydraulic geometry. We have most of these data in hand.
- 6) Field surveys of channel geometry, longitudinal profiles, and floodplain transects at key locations throughout the basin. We intend to complete these in the next two years, using our survey-grade GPS system.

El mide, a lo largo del canal, la altura del nivel del agua gracias a un GPS diferencial (Trimble) con una precisión de 1 a 2 m. Este información es particularmente interesante para poner en evidencia los sitios de depósito preferencial (se pudo observar por ejemplo que el perfil del canal del río Beni no es regular, y muchos rellanos han podido ser puestos en evidencia principalmente en Rurrenabaque).

- 7) A series of 1m deep sediment cores taken from the a number transects across the floodplain in key locations. Back at the University of Washington, we will measure these cores for Pb-210, and granulometry. The goal is to establish deposition rates for a variety of floodplain environments and channel configurations, so that we can calibrate our numerical model.

La medida de la actividad del Pb²¹⁰ se lleva a cabo por espectrometría alfa según una nueva técnica, más precisa, ya que permite afinar la medición sobre la fracción fina (arcillas) de los sedimentos.

- 8) Granulometry, bank-height, and water depth surveys at various locations.
 6) Sediment input, as published by Guyot, and also as predicted by our model for Andean erosion rates.
 7) Additional field data on sediment and water discharge, as collected by IRD, and SENAHMI. We would very much appreciate your help and advice with these data, as such data would be quite useful for model testing and development.

Mi objetivo era realizar muestrea de perforación (0.65 m) en diferentes puntos de la llanura de inundación -se realizaron 13 en total- a fin de estudiar la historia del mercurio depositado en la cuenca del Mamoré durante el siglo, sabiendo que éstos cargarían dataciones. Una de las cuestiones científicas actuales consiste en identificar fuentes de contaminación de los suelos tropicales, entre las partes natural y de origen antrópico, y localizar lugares de sedimentación máxima en la llanura y entonces identificar las zonas de riesgo de contaminación.

2 - Participantes

1ª fase: del 1 al 12 de septiembre 2000

Laurence MAURICE BOURGOIN	IRD Hidrogeoquímica, La Paz, Bolivia
Rolf AALTO	Geologist, PhD student, Univ. de Washington
Tomas DUNNE	Pr in Geomorphology of large rivers, Univ. of California, Sta Barbara
Mark SALAK	Geologist, Profesor in New Mexico
Vincent BARNAUD	IRD-Bolivia, estudiante 4º año ISTOM
Pascal FRAIZY	IRD-Bolivia, responsable del barco IRD
Fernando TORCUATTO	Alumno Escuela militar Naval, Pto. Villarroel

2ª fase: del 12 al 26 de sept. 2000

Rolf AALTO	Geologist, PhD student, Univ. de Washington
Mark SALAK	Geologist, Profesor in New Mexico
Vincent BARNAUD	IRD-Bolivia, estudiante 4º año ISTOM
Pascal FRAIZY	IRD-Bolivia, responsable del barco IRD
Fernando TORCUATTO	Alumno escuela militar Naval, Pto. Villarroel

Choferes:

Julio César SALINAS y Abdul CASTILLO, del IRD-Bolivia

3 - Financiamiento

Los gastos de viaje al campo de todos los participantes, así como los gastos de gasolina de los vehículos y del barco IRD, utilizados para la misión y los viáticos del personal Boliviano, fueron asumidos a mitades por Rolf Aalto (financiamiento NSF de su tesis) y por el IRD (programa HiBAm-Bolivia).

4 - Desarrollo de la misión

25 de agosto: Llegada de Rolf Aalto y Mark Salak

- Reunión en el IRD: Preparación de la misión: definición de los objetivos y de la metodología empleada. Exposición de las necesidades - Organización de la misión.
- Compras (alimentos, suministros y pequeño material para 15 días).

26 de agosto - 31 de septiembre 2000: Misión del equipo americano en la cuenca alta del Grande

- Reconocimiento de la cuenca alta del Grande. Ningún muestreo.

31 de agosto: La Paz - Cochabamba

- Últimas compras para el motor del barco IRD, en COSUBO (aceite motor, bujías, etc.)

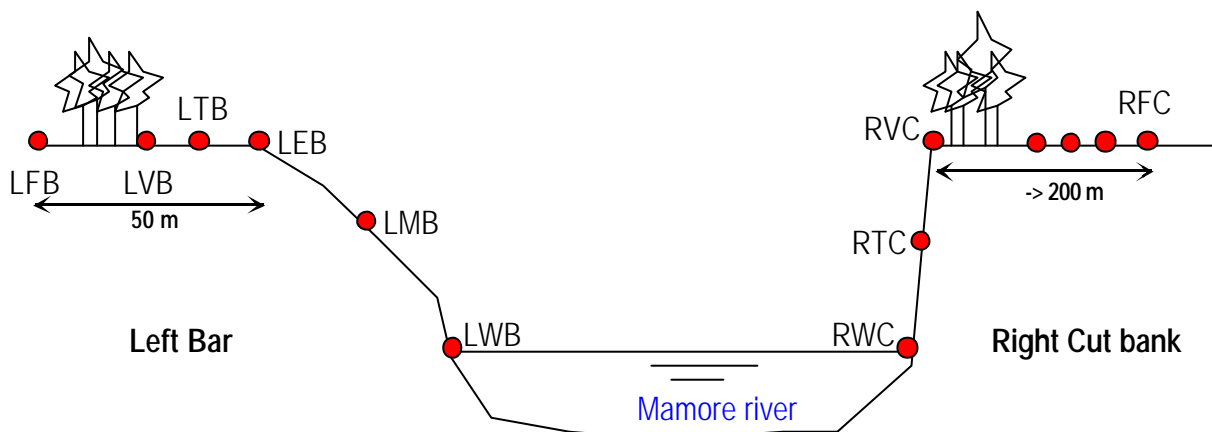
1º de septiembre: Cochabamba - Puerto Villarroel

- Últimos preparativos antes de partir - preparación del barco.

2-9 sept. : Descenso de los ríos Ichilo y Mamoré - muestreo del agua y de sedimentos

- Planificación de los transectos a realizar
- Realización de transectos - muestreo de sedimentos y perforaciones en los puntos RFC o LFB hasta máximo 200 m al interior de la vegetación.

Se adjunta el plan de extracción de muestras de perforación (en cada punto rojo):



- LFB : Left Floodplain Bar
- LVB : Left Vegetation Bar
- LTB : Left Top Bar (1/2 LEB – LVB)
- LEB : Left Edge Bar
- LMB : Left Middle Bar (1/2 LWB – LEB)
- LWB : Left Water Bar
- RWC : Right Water Cut bank
- RTC : Right Top Cut bank (top of sand)
- RVC : Right Vegetation Cut bank
- RFC : Right Floodplain Cut bank

En total se realizaron 20 transectos, con extracción de perforaciones (en la mayoría de los casos) de sedimentos a 100 cm de profundidad en cada uno de los ríos ("Bar" = orilla de depósito y "Cut-bank" = orilla erosionada), en la llanura de inundación, hasta 200 m al interior de la vegetación.

En lo que concierne a las extracciones de testigos realizadas para el análisis del mercurio, fueron duplicadas a nivel del R/L donde el índice de depósito supuesto es importante.

- Muestreos de agua superficial (cf. cuadro adjunto)

- Estudio de 5 "oxbow lakes" aún conectados al canal principal del río Mamoré. Perfiles longitudinales y transversales (medición de la profundidad) y perforaciones de sedimentos de fondo. Perforaciones para el análisis del Pb²¹⁰ acoplado al del mercurio, del C, N, Fe y Al y lecturas de parámetros físico-químicos se realizaron en el lago nº 2. Cada uno de los lagos de meandros relacionado al Mamoré se caracterizaba por aguas claras (con pocas suspensiones y mucha producción fitoplanctónica). En cambio, los lagos desconectados del Mamoré (que hemos alcanzado a pie a partir de la llanura de inundación) tendrían tendencia a ser más ricos en carbono orgánico y a ser el centro de un desarrollo importante de plantas del tipo jacintos de agua. Se realizó un muestreo de estas plantas y se conservó congelado. En efecto, estas plantas pueden causar una parte de la metilación del mercurio contenido en las aguas (cf. trabajos de Guimarães *et al.*).

9 de septiembre: Llegada a 'Los Puentes' nuevo puerto de Trinidad

- Aforos realizados en el río Mamoré (cf. resultados en anexo 1) a nivel de una sección estable desde hace varios años (según los mapas de Rolf). Presencia de un banco de arena en formación al medio del canal.
- Noche en Trinidad.

10 de septiembre: Extracción de perforaciones aguas abajo de Trinidad

- Descenso en una hora y media del río Mamoré hasta una sección estable del canal. Realización de un transecto con extracción de perforaciones de sedimentos y medición de la elevación del río.

11 de septiembre: Reunión en el SEMENA de Trinidad y sobrevuelo de la llanura de inundación

- Reunión de 9:00 a 11:30 hrs. en el SEMENA.

Participantes: Lic. Oscar Moreno Bello (Subgerente), Luis Antonio Phillips Muñoz (jefe del Dpto. De Hidrografía), Rolf Aalto, Thomas Dunne y yo.

Les hemos presentado nuestros objetivos y metodología así como los mapas del Beni y del Mamoré que Rolf había establecido a partir de imágenes Landsat.

Oscar Moreno nos indica que una misión en el SEMENA debe partir dentro de unos días por un mes de lecturas completas a lo largo del río Mamoré.

De las discusiones llevadas a cabo se decidió que:

La Universidad de Washington se compromete hacerles llegar:

- Los mapas en papel de los ríos Beni y Mamoré establecidos a partir de imágenes Landsat de junio 2000 y en las cuales figuran los surcos del canal principal de los años 1973, 1986 y 1993.
- Imágenes más precisas de la región de Trinidad.
- El perfil a lo largo de la elevación de superficie del río Mamoré levantado en septiembre 2000 (anexo 2).
- Los perfiles de través realizados en septiembre 2000 en el río Mamoré.

El IRD se compromete a hacer llegar:

- el informe de esta misión.
- Los resultados de los aforos realizados en el Mamoré en septiembre 2000 (anexo 1).

El SEMENA se compromete a hacernos llegar:

- el mapa de levantamiento del río Mamoré con la batimetría de 1994.
- Resultados de sus campañas de levantamiento de septiembre 2000 (perfiles de través, batimetría, aforos, etc.).
- Datos de alturas de agua anotados desde 1987 sobre sus 5 estaciones geo-referenciadas (2 lecturas / día desde 1995) y sobre sus estaciones intermedias no geo-referenciadas.
- Levantamiento de los BM hechos por el IGM.

- Sobrevuelo con el Capitán Balthazar durante 1 hora y 1/2 de la llanura de inundación aguas arriba y aguas abajo de Trinidad; subimos hasta los transectos efectuados entre el 8 y 11 de septiembre. Invitados: Tom Dunne, Rolf Aalto y yo (costo: 180 US\$ / hora).

12 de septiembre: Continuación de la misión sin Tom D. ni yo

- Retorno a La Paz de Tom Dunne y yo en avión.
- Partida del resto del equipo hacia el Mamoré.

13-21 de septiembre: Descenso del Mamoré de Trinidad a Guayaramerín

- Continuación de los muestreos de agua, de la extracción de perforaciones de sedimentos en la llanura de inundación y de las lecturas de altura del nivel de superficie del agua.

22 de septiembre: Llegada a Guayaramerín

- Cita con Julio César Salinas y Abdul Castillo - salida hacia Riberalta.

23 de septiembre: Muestreos y aforos sobre el Madre de Dios

- Subida en Zodiaco hasta la estación PCD de Miraflores - lectura de los datos hidrometeorológicos y aforos (cf. en anexo 1).
- Muestreo de agua de superficie y de sedimentos de orilla.

24 de septiembre: Muestreos y aforos sobre el Beni

- Muestreos de agua superficial y de sedimentos de orilla sobre el río Beni aguas arriba y aguas abajo de la confluencia con el río Madre de Dios.
- Aforos en los mismos puntos de los muestreos.

25-26 de septiembre: Retorno de los norteamericanos a La Paz

- Con Abdul Castillo.
- PF, JCS y VB: Ayuda en la preparación del barco (compra de gasolina y aceite).

26 de septiembre: Retorno a La Paz de Vincent Barnaud y JC Salinas

- Retorno directamente en 21 horas ya que se anunciaron bloqueos de caminos y JCS tenía un compromiso para el día siguiente.

27 de septiembre-4 de octubre: Retorno de Pascal Fraizy y Fernando a Pto. Villarroel

- Ninguna observación.

Consumo de gasolina del 'Jichingu' con motor 55 caballos + trayectos en Zodiaco (para lecturas de los lagos de meandros y muestreos en los tributarios).

No se ha observado gran diferencia de consumo entre la subida del río vacío y el descenso lleno.

Pto. Villarroel - 'Los Puentes'	600 km	600 l
'Los Puentes' - Guayaramerín	850 Km	1000 l

Consumo promedio: 1 l/km

5 - Primeros resultados

Esta misión MAMORE 2000 permitió muestrear, por primera vez, perforaciones de sedimentos depositados en la llanura de inundación del río Mamoré hasta 1.00 m de profundidad.

Las perforaciones realizadas en duplicado para el análisis del Hg se conservaron a 4°C en el lugar (en un refrigerador instalado en el barco).

Estas muestras probablemente serán analizadas en el laboratorio GEOTOP de la Univ. de Quebec en Montreal (C, N, Fe y Al reactivos, Hg total).

Los análisis de Pb²¹⁰ de las perforaciones IRD serán realizados por el laboratorio de Rolf Aalto, en la Univ. de Washington.

6 - Conclusiones

Esta campaña ha significado nuevamente un gran éxito ! Los norteamericanos desean renovar la experiencia por tercera vez para el próximo año sobre el río Madre de Dios, con nuestra colaboración por supuesto. Yo les he propuesto partir del Perú, lo que nos permitiría poder muestrear desde el piedemonte peruano. Esta próxima campaña estaría prevista entre agosto y septiembre del 2001.

Espero sus observaciones y comentarios.

Hecho en La Paz, el 10 de octubre 2000

Laurence MAURICE BOURGION