

# HyBAm – Hydrogéodynamique actuelle du bassin amazonien

---

**COMPTE-RENDU DE MISSION EN BOLIVIE  
DU 04 NOVEMBRE AU 18 NOVEMBRE 2006**

Cadres : projets ATI, EC2CO et NSF

Laurence MAURICE BOURGOIN (IRD)



*Photo : L. Maurice B. (IRD)*

**CAMPAGNE D'ÉCHANTILLONNAGE  
DANS LE BASSIN DE DRAINAGE DU RIO BENI**

## 1 - Cadre de la mission

Cette mission s'est déroulée en trois parties :

- du 05 au 07 novembre 2006 : participation au séminaire « Métaux, Santé et Environnement » organisée à La Paz dans le cadre du programme ATI U2SIS « Usages des Sols et Sédiments : Impacts Sanitaires » - séminaire de restitution des résultats obtenus au cours de l'année 2006, dernière année de financement de ce programme par l'IRD.

- Réunions les 08 et 09 novembre avec nos partenaires de la UMSA, à l'Institut de Chimie, de Géologie et au LCA (Laboratorio de Calidad Ambiental) de l'Institut d'Ecologie.

- du 09 au 17 novembre 2006 : campagne de terrain, déroulée en collaboration avec un chercheur de l'Université de Washington (Seattle), Rolf Aalto, spécialisé en géomorphologie, et un chercheur du Stroud Water Research Centre, Anthony Aufdenkampe, biogéochimiste, spécialisé dans le cycle du carbone en Amazonie.

La première partie de la mission, dans les hauts bassins des rios Mapri et Tipuani a été réalisée dans le cadre du projet RIMES (coordonné par mes soins et financé par le CNRS – EC2CO/CYTRIX).

La seconde partie de cette mission, qui fait suite à celles de novembre 2004, a été réalisée dans le cadre d'un projet financé par la NSF intitulé "Episodic, ENSO-Orchestrated Carbon Sequestration in Amazonian River Basins by Erosion-Sedimentation Processes" (NSF award number EAR-0404169), auquel plusieurs chercheurs et un ingénieur de l'UR154 sont associés (JL Guyot, L Maurice-Bourgoin, P Moreira-Turcq et P Vauchel). Ce projet, validé pour 3 ans, a débuté en août 2004.

## 2 - Objectifs de la mission et méthodologies

L'objectif principal de ce projet est d'étudier en détails le rôle des fortes crues dans l'apport puis la séquestration des sédiments (RA et JLG) et du carbone associé (AA, RA et PMT) dans les plaines d'inondation du "foreland basin" de Bolivie, ainsi que d'autres éléments géochimiques importants, comme le mercure associé à la fraction fine de ces sédiments (LMB et RA) ; un volet particulier de l'étude est consacré au rôle des crues dans l'altération chimique des bassins andins (LMB et JLG).

L'objectif scientifique principal de Rolf Aalto est l'étude des taux d'érosion et de sédimentation dans les bassins des rios Béni et Mamore. Il a 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 a appliqué à ces rivières.

L'objectif scientifique principal d'Anthony Aundenkampe, en collaboration avec Rolf Aalto, est d'étudier le rôle des plaines d'inondation d'un "foreland basin" amazonien dans la séquestration du carbone. Cette étude est fondée sur l'hypothèse que la m.o. "fraîche" adsorbée sur les surfaces minérales des sols andins lessivés en saison des pluies puis déposés dans la plaine d'inondation pendant les grandes crues ne sera pas soumise au processus de minéralisation sur des échelles de temps du demi siècle car enfouie rapidement en milieu anoxique. L'objectif est de quantifier le rôle des plaines d'inondation dans la séquestration du CO et de caractériser le C apporté par les tributaires andins, en particulier au niveau des éboulements de terrain (où les sols sont soumis à une très forte érosion en saison des pluies).

L'objectif principal de Laurence Maurice-B. est de déterminer et si possible quantifier la part des sources d'origine naturelle et anthropique dans la contamination par le Hg des sols et sédiments tropicaux. Nous avons prélevé des échantillons représentatifs des principales sources naturelles et anthropogéniques de cet élément dans le bassin du Beni (Hg liquide utilisé par les orpailleurs, roches, sols et sédiments) en vue de l'analyse des rapports isotopiques de Hg (au LMTG, thèse de Laure Laffont, recherche en collaboration avec J. Sonke et Ph. Behra).

Par ailleurs, en collaboration avec Jérôme Gaillardet et Christian France-Lanord, des échantillons d'eau dans tous les tributaires du Rio Beni ont été filtrés en vue de l'analyse des isotopes du S et de l'O des sulfates ; ces analyses devraient nous permettre de mieux caractériser et quantifier le taux de lessivage des black shales, particulièrement abondantes dans ces hauts bassins du piémont Bolivien.

Notre objectif cette année était en particulier d'étudier plus en détails des éboulements de terrain dans la zone de Sorata/Consata et Chulumani.

Notre stratégie d'échantillonnage a donc consisté à prélever :

- les eaux de surface des principaux formateurs du Rio Beni (analyses MES + géochimiques): Coroico, Tipuani et formateurs, Mapiri, Challana, Kaka, Alto Beni, La Paz, et Beni à Rurrenabaque.
- des sols et roches du piémont andin, principalement au niveau des glissements de terrain (analyses C + isotopes du Hg)

Une visite de l'observatrice de San Buenaventura, Sonia Coga, a également été effectuée ; du matériel neuf lui a été remis de manière à ce qu'elle puisse continuer les prélèvements et les filtrations au cours des crues de la saison des pluies 2006-2007.

### 3 - Participants à la mission de terrain

Laurence MAURICE BOURGOIN	IRD, LMTG, France
Rolf AALTO	Univ. de Washington, Dept Earth Sci., US
Anthony AUFDENKAMPE	Stroud Water Research Centre, US

*Chauffeur*

Marcelo CLAURE (IRD Bolivie)

### 4 - Financement

Les frais de tournée sur le terrain de tous les participants ainsi que les frais d'essence ont été pris en charge par le financement NSF.

Les frais du véhicule IRD utilisé pour la mission ont été pris en charge par l'IRD (programme RIMES).

### 5 - Déroulement de la mission

#### 08 novembre 2006: La Paz

- Arrivée de Rolf Aalto et Anthony Aufdenkampe
- Clôture du séminaire « Métaux, Santé et Environnement » -  
Présentation du réseau COPEH-TLAC financé par le CRDI (Canada) et mise en place d'un comité de suivi international. La COPEH-TLAC est un réseau interdisciplinaire qui fait la promotion de la recherche en écosanté sur les substances toxiques de l'environnement qui compromettent la santé humaine. Elle compte parmi ses membres des chercheurs, des décideurs et des ONG d'Amérique du Sud et d'Amérique centrale, des Caraïbes, du Mexique et du Canada. Elle a pour objectif de renforcer la coopération entre les chercheurs du Canada et de la région de l'Amérique latine et des Caraïbes (ALC), et de relier les résultats des recherches, les politiques sur la santé et l'environnement et les actions sociales. Le centre régional des Andes s'intéresse pour sa part aux problèmes liés aux métaux lourds et à l'exploitation minière. Plus d'infos sur <http://www.insp.mx/copeh-tlac/esp/inf/>
- Visite, avec Jean-Louis Duprey, du nouveau Laboratoire de Qualité Environnementale (LCA) de la UMSA présenté par Jaime Chincheros, un de nos principaux collaborateurs en Bolivie.

- Réunion à l'IRD avec Jean J. Vacher et Philippe Vauchel: présentation de nos résultats antérieurs, du projet actuel et des perspectives ainsi que des objectifs de notre mission – discussion du partenariat (au sein de l'IRD + Bolivien)

#### **09 novembre 2006: La Paz - Huatajata**

- Réunion avec Jaime Chincerros (LCA) et discussion de points de collaboration (analyses, encadrement de Maestria, participation à la rédaction d'articles sur l'altération chimique et le cycle du C en Amazonie Bolivienne)
- Réunion avec Jorge Quintanilla (IIQ, UMSA) et discussion sur le thème « Métaux, Santé et Environnement » lui-même participant à un autre programme sur l'As (coopération suédoise).
- Visite à l'IIG (UMSA) et discussion avec Raoul Garcia Duarte sur une éventuelle collaboration sur le thème de l'érosion physique des hauts bassins du Beni (encadrement d'un étudiant).
- Départ pour Huatajata

#### **10 novembre 2006: Huatajata – Sorata - Yani**

- Échantillonnage de roches (black shales) et sols sur glissements de terrain (pour analyses et caractérisation du CO et isotopes du Hg)
- Échantillonnage du rio San Cristobal à Sorata – présence d'une série d'alluvions récents et particulièrement grossiers.



- Échantillonnage du rio Challasuyo (affluent du San Cristobal) – eau très turbide (crue récente).

#### **11 novembre 2006: Yani - Quiabaya**

- Achat de Hg liquide utilisé par les mineurs de la région (0,50 Bs le g); ce mercure proviendrait d'Espagne.
- Visite de la mine « Señor de Maio » à 3800 m d'altitude et interviews des mineurs. Visite du « socavón » et démonstration par des mineurs des étapes du processus d'extraction du précieux métal.



De nombreuses mines (plus de 30) sont encore en activité dans le secteur.

- Échantillonnage de roches sur glissements de terrain et affleurements

- Échantillonnage de black shales et de sédiments sur le site de la mine (zone de broyage du minerai, bassin de décantation des eaux de rejet, sédiments du ruisseau où sont rejetées les eaux après amalgamation)
- Échantillonnage du rio Ingenio (affluent du rio Yani – 3663 m)
- Échantillonnage du rio Atajo (tête de bassin du rio Tipuani) dans la « puna », zone humide d'altitude (4486 m).
- Échantillonnage du rio Soque à Quiabaya et d'un petit affluent en crue (dépôt frais –qq heures- de sédiments fins et grossiers)



#### 12 novembre 2006: Quiabaya - Consata

- Échantillonnage de roches et sols sur glissements de terrain (pour analyses et caractérisation du CO et isotopes du Hg)
- Échantillonnage du rio San Cristobal à l'aval (1395 m d'alt.)
- Échantillonnage du rio Huachilli

Présence d'un énorme cône de déjection du Rio Huachilli - Descente à pied pour atteindre la confluence des 2 rios et leur échantillonnage



#### 13 novembre 2006: Consata – Mapiri - Guanay

- Échantillonnage du rio Consata en amont du village près de l'hôtel Don Beto



- Échantillonnage de roches (shales très altérées) sur glissements de terrain et affleurements

#### 14 novembre 2006: Guanay - Rurrenabaque

- Échantillonnage des rios Mapiri, Tipuani, Challana, et Coroico (pour analyses du CO, des isotopes du S et de l'O des sulfates et des majeurs) dans la partie aval de leur bassin de drainage, avant leur confluence.



#### 15 novembre 2006: Rurrenabaque / San Buenaventura

- Visite de l'observatrice (ORE HYBAM) de San Buenaventura (Sonia Coga) – remise de matériel pour les nouveaux prélèvements et filtrations qu'elle aura à faire pendant la période des crues 2006-07 (suivi de la granulométrie, du  $^{210}\text{Pb}$ , des majeurs et du C) – vérification du matériel de mesures des paramètres physico-chimiques *in situ*.
- Échantillonnage du rio Beni à San Buenaventura avec Sonia (Série 3 – R1)



#### 16 novembre 2006: Rurrenabaque – Sapecho - Chulumani

- Échantillonnage du rio Alto-Beni à Sapecho
- Échantillonnage du rio Tamampaya

Les vallées de la région de Chulumani sont très anthropisées (nombreuses cultures de coca, thé, café, agrumes, maïs, ...).



### 17 novembre 2006: Chulumani – La Paz

- Échantillonnage de roches (substratum très altéré) et de sols sur glissements de terrain (pour analyses et caractérisation du C et isotopes du Hg)
- Échantillonnage du rio La Paz au pont Plazuela



- Arrivée à La Paz à 18h00; dépôt à l'IRD des pièces comptables et du véhicule.

### 18 novembre 2006: La Paz - Toulouse

- Retours de LMB, RA et AA

La localisation des points de prélèvements d'eau de surface ainsi que les résultats des paramètres physico-chimiques mesurés *in situ* sont présentés en annexe 1.

## 6 - Conclusions

Le contact repris auprès du LCA (UMSA) et de son responsable, Jaime Chincerros, a permis d'une part de vérifier la qualité de ce laboratoire entièrement rééquipé d'appareils neufs (financés en grande partie par la coopération suédoise et pour la partie « mercure » par l'IRD et d'autres financements français) mais également de renouer une collaboration scientifique, en associant de nouveau cet ingénieur ainsi que certaines de ses étudiantes à nos recherches et à nos articles en préparation sur le thème du mercure et de l'altération/érosion en Bolivie.

La réunion avec Jorge Quintanilla (IIQ, UMSA) nous a permis de d'apprendre que d'autres actions sur le thème « Métaux, Santé et Environnement » étaient engagées par d'autres organismes européens de coopération (Suède notamment). Lui est engagé plus spécifiquement sur l'étude de l'arsenic dans les régions minières de Bolivie. Il serait intéressant de rapprocher ces efforts à ceux du réseau COPEH-TLAC mis en place sur le thème en Amérique Latine.

L'entrevue avec Raoul Garcia Duarte (Inst. Investigaciones en Geologia, UMSA), rencontré quelques semaines auparavant au LMTG lors de la soutenance de thèse de Magalie Strub, nous a permis de lui présenter notre programme de recherche et nos questions scientifiques ; nous lui avons laissé tous les documents nécessaires à la lecture en détails de nos projets de recherche.

En résumé, notre collaboration avec ces principaux partenaires Boliviens se fera essentiellement par la participation à l'interprétation des résultats obtenus au cours de notre projet et nous espérons au co-encadrement d'étudiants en Licenciatura et Maestria. Nous avons prévu dans un premier temps,

Anthony A ., Rolf A. et moi, de rédiger un sujet de Maestria sur le thème du rôle des crues dans les processus d'érosion physique et d'apports en C organique et minéral à la plaine du Béni et le proposer à Raoul Garcia ; la collaboration avec nos partenaires du LCA se fera sur le thème de l'altération chimique. Une réunion de restitution et de discussion des résultats est programmée à La Paz en avril 2007.

Les objectifs prévus pour cette campagne de prélèvements et d'observation terrain ont été atteints ainsi que la poursuite du suivi des crues par l'observatrice de San Buenaventura, pour l'année 2006-07. Nous remercions vivement par avance Philippe Vauchel de récupérer les échantillons et payer le travail réalisé par Sonia Coga (conformément à nos discussions).

Tous les résultats obtenus au cours de cette campagne sont communs à chacun des participants et des équipes; R. Aalto met également à notre disposition d'autres informations (images Landsat et Aster, DGPS water elevations, cartes, etc...).

Le 03 janvier 2007,

Laurence MAURICE B.  
[maurice@lmtg.obs-mip.fr](mailto:maurice@lmtg.obs-mip.fr)

Rolf AALTO  
[aalto@u.washington.edu](mailto:aalto@u.washington.edu)

Anthony AUFDENKAMPE  
[aufdenkampe@stroudcenter.org](mailto:aufdenkampe@stroudcenter.org)

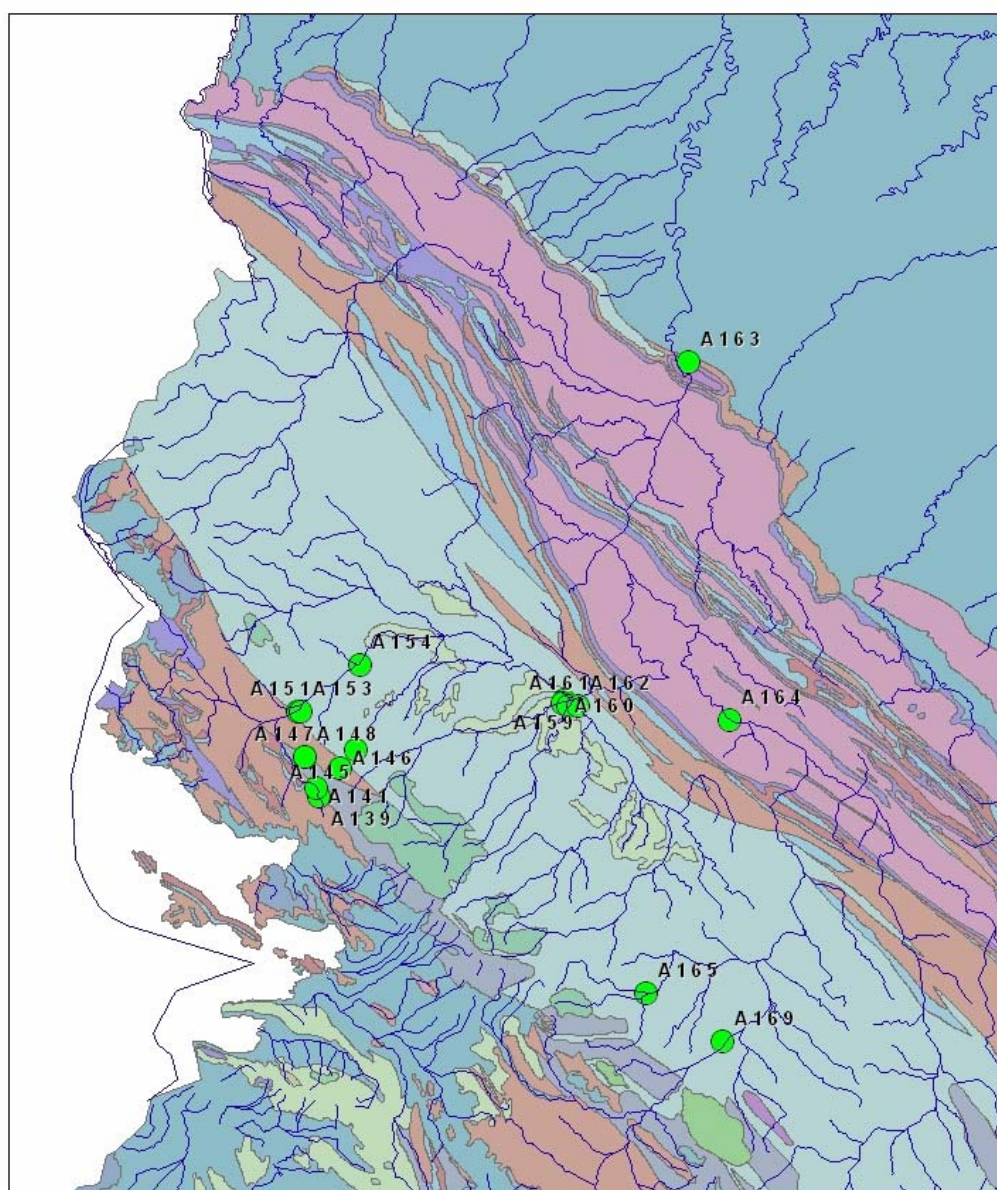


## ANNEXE 1

### LOCALISATION ET CARACTERISATION DES POINTS DE PRELEVEMENTS D'EAU DE SURFACE

Figure 1. Localisation des points de prélèvements d'eau de surface dans le bassin du Rio Beni.

#### Points d'échantillonnage Campagne Novembre 2006



0 12,5 25 50 75 100 Kilometers

**Tableau 2.** Paramètres physico-chimiques mesurés *in situ* dans les eaux de surface échantillonnées dans le bassin du Rio Béni du 10 au 17 novembre 2006.

Code	Rio	Lieu	Longitude W	Latitude S	Alt, (m)	Date	Heure	Temp (°C)	pH terrain	OD (mg/l)	OD (%)
A139	San Cristobal	Sorata	68.63918°	15.79321°	2686	10-nov.-06	12:00	11.6	7.28		100
A141	Challasuya	Sorata	68.64747°	15.7646°	2659	10-nov.-06	15:30	13.2	7.98		
A145	Ingenio	Yani	68.52795°	15.64775°	3663	11-nov.-06	10:50	8.5	7.02		
A146	Atajo	Yani	68.57487°	15.7049°	4486	11-nov.-06	13:20	12.1	7.11		
A147	Soque	Quiabaya	68.68407°	15.67092°	2809	11-nov.-06	18:15	10.3	7.87		73.7
A148	Soquito !	Quiabaya	68.68407°	15.67092°	2809	11-nov.-06	18:30	11.5	6.80		74.3
A151	San Cristobal		68.70425°	15.53104°	1395	12-nov.-06	15:30	20	8.36		
A153	Huachilli	Consata	68.69797°	15.52827°	1429	12-nov.-06	17:00	21.5	8.28		
A154	Consata	Consata	68.51508°	15.38472°	995	13-nov.-06	07:45	17.1	7.95		96.4
A159	Mapiri	Guanay (au pont)	67.88382°	15.49291°		14-nov.-06	9:00	24.4	7.28		90.9
A160	Tipuani	Guanay (au pont)	67.88602°	15.50201°		14-nov.-06	10:15	20.7	5.70		93.3
A161	Challana	Guanay (au pont)	67.86858°	15.50967°		14-nov.-06	10:45	21.3	5.87	8.15	91.1
A162	Coroico	Guanay (au pont)	67.83780°	15.51124°		14-nov.-06	14:30	23.8	6.94		96
A163	Béni AB	San Buenaventura	67.49697°	14.44983°	190	15-nov.-06	10:00	26.4	6.91		
A164	Alto Beni	Sapecho	67.37415°	15.55738°	383	16-nov.-06	09:20	25.2	7.7	7.50	91.3
A165	Tamampaya	Chulumani	67.63154°	16.39795°	1168	16-nov.-06	18:15	17.6		8.90	92.9
A169	La Paz	au pont Plazuela	67.39397°	16.54822°	1100	17-nov.-06	10:15	22	8.37	7.62	87.2