



Observatoire de Recherche en
Environnement HYBAM

LMTG (CNRS - IRD - UPS) - Toulouse
ANA / UnB - Brasília
SENAMHI / UMSA - La Paz
SENAMHI / UNALM - Lima
INAMHI - Quito
DIREN / US OBHI / US UMA IRD - Cayenne
DGRST / SCEVN - Brazzaville
UCV - Caracas

Rapport d'étape - Année 2005

Francis SONDAG, LMTG Toulouse, Janvier 2006



Le pont sur l'Orénoque à Ciudad Bolivar, Vénézuéla (photo : S. Millán)

Sommaire

1 Introduction – Situation du réseau et de la base de données.....	3
2. Caractéristiques des stations installées en 2005	6
sur l’Orénoque à Ciudad Bolivar, Vénézuéla	6
sur le Congo à Brazzaville, République du Congo	9
3. Méthodologie analytique – contrôle qualité.....	11
Cations	11
Anions	11
Eléments en traces	12
Isotopes du Sr	13
Reproductibilité des MES	14
4. Conclusions et perspectives	15

ORE HYBAM

Rapport d'étape - Année 2005

1 – Introduction – Situation du réseau et de la base de données

L'Observatoire de Recherche en Environnement HYBAM (Contrôles géodynamique, hydrologique et biogéochimique de l'érosion/altération et des transferts de matière dans le bassin de l'Amazone. Impact des variations hydroclimatiques et des activités anthropiques) initié en janvier 2003 avec l'appui financier du Ministère de la Recherche, de l'INSU et de l'IRD, vient de terminer sa troisième année de fonctionnement.

Cet observatoire comprend à ce jour 17 stations hydrologiques, soit cinq de plus que dans le projet initial. Toutes ces stations, possèdent de longues séries journalières de hauteur d'eau et de débit, à l'exception d'Atalaya où les mesures ont commencé en 2005. Un suivi hydrologique, sédimentaire et géodynamique, couplé à un échantillonnage régulier pour l'analyse géochimique, a été mis en place pour l'ensemble de ces stations dont la localisation est reprise à la figure 1 ci-dessous.

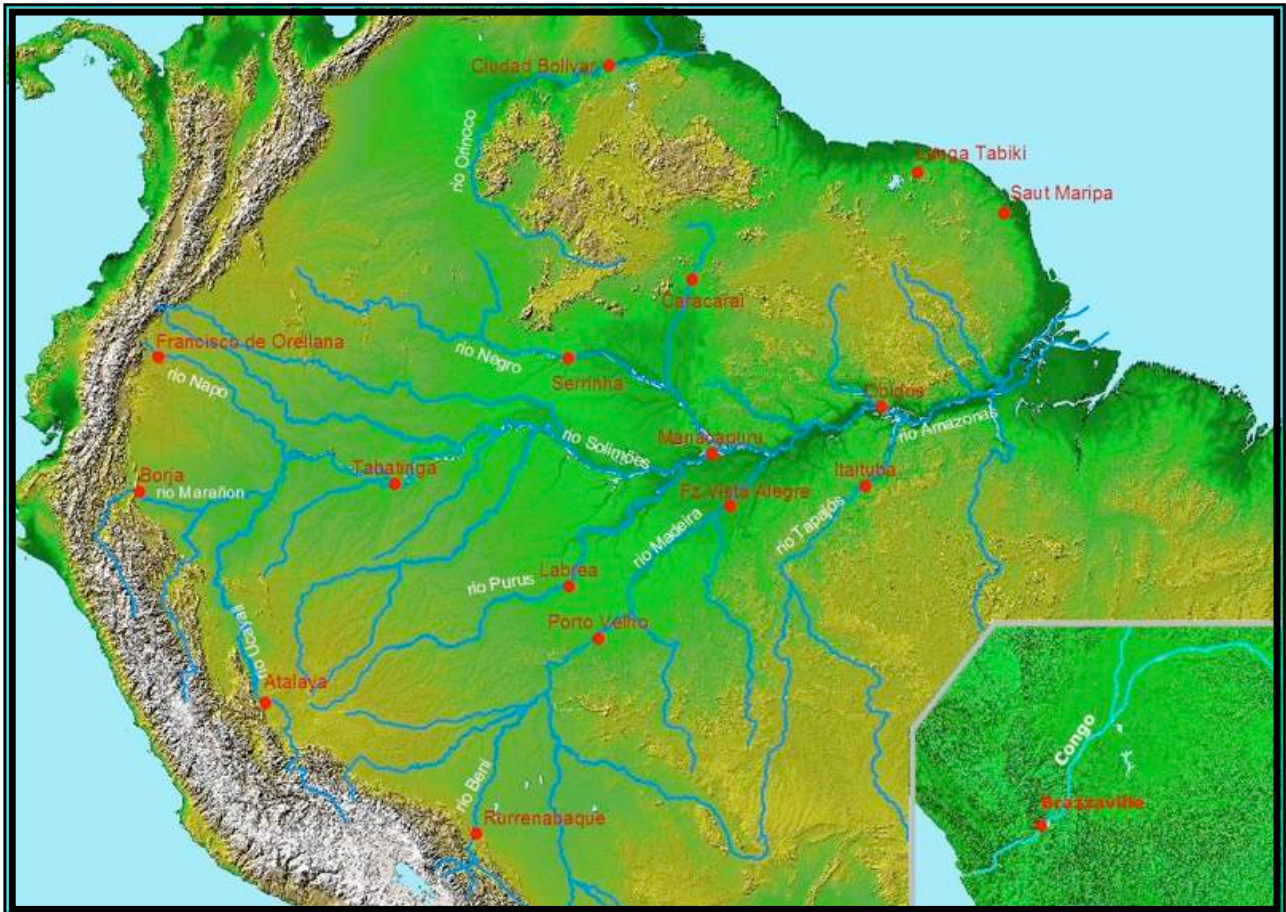


Figure. 1 – Le réseau des stations de l'ORE Hybam au 31/12/2005

Au cours de l'année 2005, deux nouvelles stations ont été installées : une sur le fleuve Orénoque à Ciudad Bolivar, Vénézuéla, et une sur le fleuve Congo à Brazzaville, République du Congo. Le détail de chacune d'entre elles est présenté au § 2.

En cours d'année 2005, le dispositif analytique n'a été que très légèrement modifié par rapport à celui de l'année précédente (cf. rapport d'étape 2004) : les analyses des éléments en traces par ICP-

MS et celles du COD sont réalisées au LMTG, celles des cations et anions majeurs des stations brésiliennes sont effectuées au LAGEQ/UnB à Brasília. Les cations sont déterminés par ICP-AES et AAS et les anions sont déterminés par HPLC ionique. Pour ce qui concerne les analyses des anions et cations majeurs des autres stations (pays andins, Guyane Française, Vénézuéla et Congo) elles sont effectuées à Toulouse en raison des difficultés douanières et de contrôle sanitaire rencontrées à lors de l'importation d'échantillons au Brésil.

L'ensemble des résultats acquis dans les deux laboratoires chargés des analyses (Laboratoire de Géochimie de l'Université de Brasília (LAGEQ-UnB) et Laboratoire de Modélisation et Transferts en Géologie (LMTG/ UPS – CNRS - IRD) sont mis à disposition sur le site de l'ORE Hybam (<http://www.ore-hybam.org>); elles sont accessibles en ligne avec un navigateur Web grâce à une applet développée en Java. Cette applet, authentifiée par un certificat de sécurité Thawte, est téléchargée automatiquement par le navigateur et affiche immédiatement l'inventaire des données disponibles dans la base ORE pour la station choisie sous forme d'un diagramme de Gantt. Le menu de l'applet permet ensuite de :

- choisir un ou plusieurs paramètres et les représenter graphiquement,
- extraire la liste des stations de l'ORE,
- extraire sous forme de fichier d'un tableur (une feuille par paramètre ou groupe de paramètres), la série chronologique d'un ou plusieurs paramètres pour la station choisie,
- extraire sous forme de fichier d'un tableur (une feuille par station), la série chronologique d'un paramètre pour toutes les stations.

Cette consultation/extraction des données s'effectue donc de façon dynamique par interrogation de la base de données ORE lors de la sollicitation de l'utilisateur. Le format des fichiers extraits les rend facilement exploitables par les applications du commerce ou spécialisées. A ce jour, plus de 50 institutions ont téléchargé des données à partir du site de l'ORE Hybam.

Le tableau I ci-dessous indique les résultats disponibles au 31/12/2005. On remarquera que dans l'ensemble, les échantillons sont analysés dans les 6 mois de leur prélèvement à l'exception de deux stations au Brésil : Borba et Serrinha. Pour ces deux stations, des difficultés de contact avec les observateurs ont été rencontrées en 2005, notamment en raison de leur situation géographique. Ce problème devrait être résolu en 2006 grâce à la participation au suivi du réseau de Naziano FILIZOLA, professeur à l'Université Fédérale d'Amazonas à Manaus.

Tableau I : Situation des échantillons de l'ORE Hybam au 31/12/05

Station	2003												2004												2005											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Porto Velho			⇒																																	
Caracarai								⇒																												
Serrinha								⇒																												
Tabatinga			⇒																																	
Manacapuru			⇒																																	
Obidos			⇒																																	
Borba			⇒																																	
Itaituba																																				
Labrea																																				
Coca				⇒																																
Rurrenabaque			⇒																																	
Saut Maripa																																				
Langa Tabiki																																				
Atalaya																																				
Borja																																				
Ciudad Bolivar																																				
Brazzaville																																				

⇒ Début ■ Analysé ■ Manquant

2 – Caractéristiques des stations installées en 2005

Après l'installation de 15 stations réparties sur l'ensemble du bassin Amazonien au cours des deux premières années, il nous est apparu intéressant de suivre les flux hydriques et de matières sur les autres principaux fleuves de la planète, afin d'une part de comparer le comportement des différents fleuves tropicaux entre eux, et d'autre part d'évaluer plus précisément les apports continentaux à l'Océan Atlantique. Pour cela, nous avons retenu :

- le Congo à Brazzaville (le deuxième fleuve mondial),
- l'Orénoque à Ciudad Bolivar (le troisième fleuve mondial).

Quelques données caractéristiques de ces deux stations sont fournies au tableau II. Les rapports détaillés des missions d'installation des stations sont téléchargeables sur le site de l'ORE Hybam (<http://www.ore-hybam.org>) dans la rubrique "Documents".

Tableau II : Superficie contrôlée, période d'observation et débit moyen
des stations ORE HYBAM installées en 2005

Station	Fleuve	Superficie (km ²)	Période d'observation	Débit moyen (m ³ .s ⁻¹) (l.s ⁻¹ .km ⁻²)		Code Hybam
Ciudad Bolivar	Orénoque	836 000	depuis 1923	31 300	37	40.800.000
Brazzaville	Congo	3 500 000	depuis 1904	40 600	12	50.800.000

Station de Ciudad Bolivar, fleuve Orénoque.

Date d'installation : mars 2005, coordonnées : 08,143944°N; 63,607861° W

Le choix de cette station répond à différents critères de sélection étudiés lors d'une mission effectuée début mars 2005 par Alain LARAQUE (US OBHI – IRD) avec l'appui du MARN (Ministère de l'Environnement et des Ressources Naturelles), de l'IMF (Institut de Mécanique des Fluides) de l'Université Centrale du Vénézuéla et de l'UNEG (Université Nationale Expérimentale de Guyana). Parmi les critères retenus, l'existence d'une station hydrologique bien documentée et d'une courbe de tarage sur une section d'eau homogène ainsi que l'absence d'influence de la marée appuient le choix de cette station. D'autre part, le MARN dispose sur place d'un observateur pouvant prendre en charge les prélèvements mensuels et disposant d'un local pour effectuer les filtrations.

Les échantillons (un prélèvement pour mesure des MES et un autre pour la géochimie) sont filtrés et stockés à la représentation du MARN à Ciudad Bolivar et récoltés trois à quatre fois par an par un chercheur de l'IMF puis expédiés au LMTG.

Une mission de contrôle a été effectuée en octobre 2005 par Francis SONDAG et Alain LARAQUE afin de vérifier le bon fonctionnement du protocole de prélèvement et de filtration.

Il est à noter que cette station ORE est complétée par deux autres stations sur l'Orénoque où ne sont prélevées que les MES avec une fréquence mensuelle ; l'une est située à Musinacio, à une centaine de kilomètres en amont de Ciudad Bolivar, l'autre à Ciudad Guyana, à 300 km en aval. La première opère sous le contrôle du MARN, la seconde est sous la responsabilité de l'UNEG.

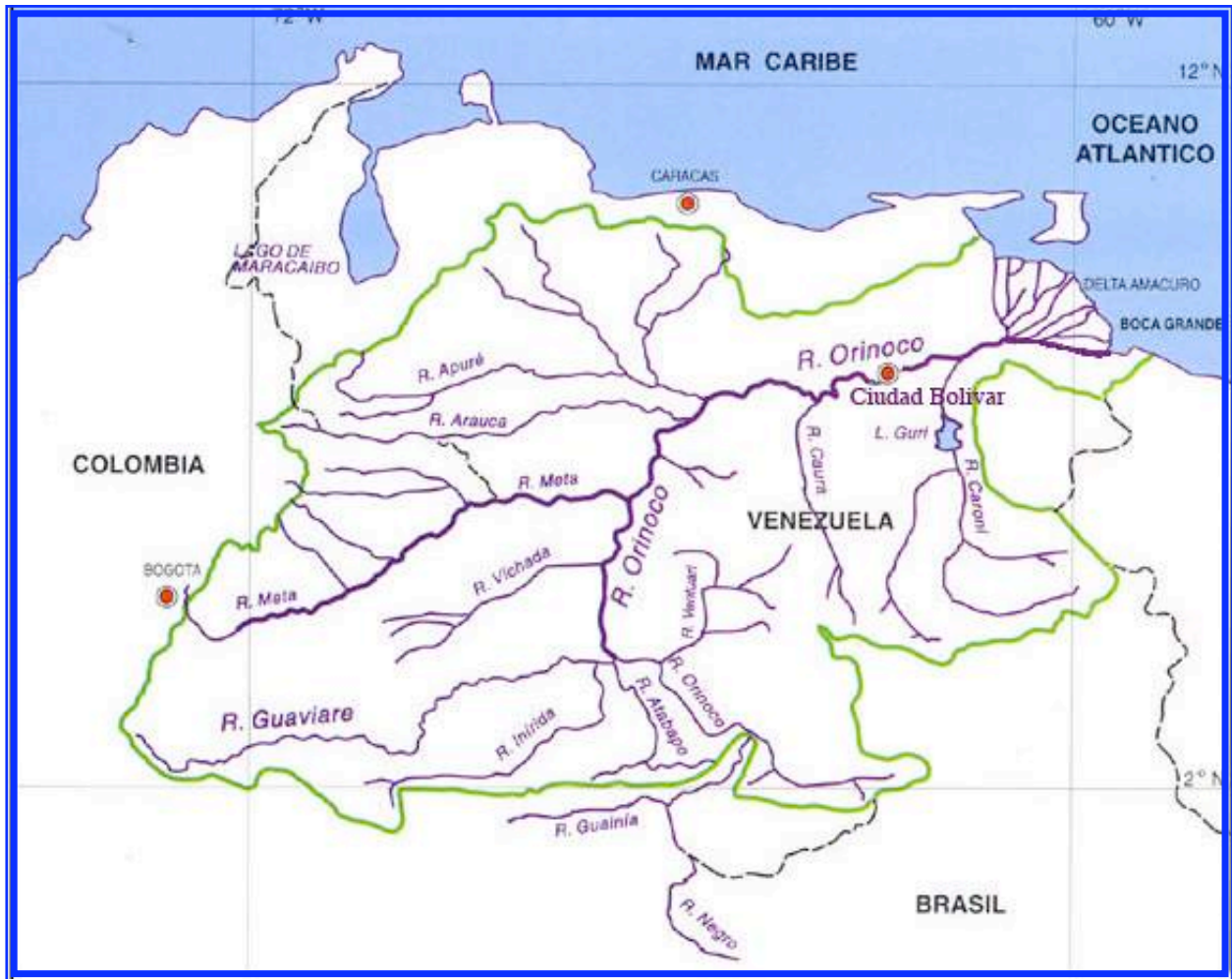


Fig. 2 - Carte du bassin de l'Orénoque et localisation de la station ORE de Ciudad Bolivar

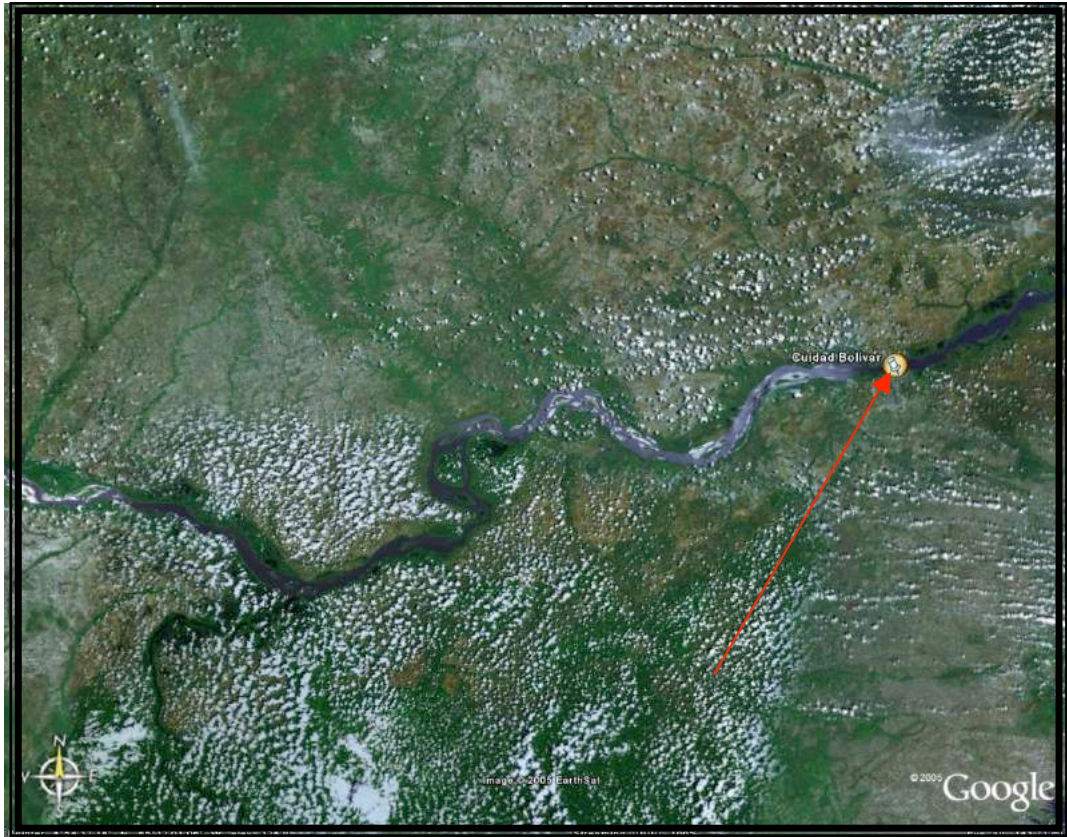


Fig. 3 - Localisation du prélèvement ORE sur l'Orénoque à Ciudad Bolívar



Fig. 4 - Le site de prélèvement ORE à Ciudad Bolívar (photo A.. Laraque)

- *Fleuve Congo à Brazzaville*

Date d'installation : Juin 2005, coordonnées du point de prélèvement : 05,33376° S, 9,526666° E

Le choix de cette station a été effectué lors d'une mission réalisée en juin 2005 par Alain LARAQUE (US OBHI – IRD) avec l'appui du Service Commun des Voies Navigables (SCVEN) et de la Direction Générale de la Recherche Scientifique et Technique de Brazzaville.

Après étude des contraintes d'échantillonnage, de la configuration des lieux et des moyens disponibles, nous avons sélectionné comme lieu d'échantillonnage ORE, un point situé à 1,5 km de la rive droite du fleuve Congo face à la tour Elf de Brazzaville. Ce point prend en compte les apports du principal bras (gauche) du Congo après la traversée du Stanley Pool et devrait être peu affecté par les effluents des villes de Kinshasa et Brazzaville, encore plaquées aux berges à ce niveau. Les cotes du Congo sont lues à l'échelle du quai militaire immédiatement en aval des installations du SCEVN .

Un échantillonnage mensuel (chaque 10 du mois) est effectué pour les MES et la chimie. A cette fin, la SCEVN met à disposition une embarcation légère et motorisée avec un pilote.

Les prélèvements, traitements, conditionnements et envois des échantillons ORE/Congo sont réalisés par le responsable local de cette station, Albert PANDI de l'Université Marien Ngouabi..



Fig. 5 - Carte du bassin du fleuve Congo et localisation de la station ORE de Brazzaville



Fig. 6 - Localisation du prélèvement ORE sur le fleuve Congo en aval su Stanley Pool



Fig. 7 - Le site de prélèvement ORE sur le fleuve Congo, avec Brazzaville et la tour Elf en arrière-plan (photo :A Laraque)

3. Méthodologie analytique – contrôle qualité

Cations majeurs

Comme indiqué au § 1, le dispositif analytique n'a été modifié cette année que pour ce qui concerne la détermination des majeurs dans les échantillons des stations non brésiliennes. Pour ces échantillons, les déterminations des anions sont effectuées par chromatographie ionique au LMTG et non pas au LAGEQ/UnB. Pour les cations, un spectromètre ICP-OES, modèle Thermo Electron IRIS Intrepid II XSP, acheté conjointement en début d'année par le LMTG et l'ENSAT, a été utilisé.

La mise au point d'une méthode adaptée aux échantillons de l'ORE a été effectuée afin de déterminer les paramètres opératoires du spectromètre (optimisation des débits d'argon, paramètres d'acquisition, sélection des longueurs d'onde et de la gamme d'étalonnage). Des tests de justesse ont été réalisés en utilisant l'eau de référence SLRS4. Les résultats sont donnés dans le tableau III ci-dessous et montrent un écart relatif de quelques pourcents par rapport aux valeurs recommandées.

Tableau III : Valeurs recommandées, moyennes et écart-type relatif (RSD) des cations majeurs dans l'eau de référence SLRS 4 (N = 5) analysés par ICP-OES (en mg L⁻¹)

Etalon : SLRS4	Ca	Mg	Na	K	Si
Valeur recom	6,20	1,60	2,40	0,68	1,86
Moyenne LMTG	5,66	1,57	2,26	0,70	1,89
RSD LMTG	8%	8%	5%	14%	0,4%
Ecart val recom	-9%	-2%	-6%	3%	1,3%

Anions majeurs

Pour le contrôle de l'exactitude des anions dosés par chromatographie ionique au LAGEQ/ UnB et au LMTG, deux échantillons de référence internationaux sont utilisés : ION915, une eau du Lac Supérieur, et BMOOS, une eau naturelle d'un lac d'eau douce produits par le National Water Research Institute, Canada. Le tableau IV ci-dessous fournit les valeurs moyennes obtenues ainsi que les déviations standards relatives et les écarts par rapport aux valeurs recommandées pour ces échantillons de référence.

Pour les nitrates et les sulfates, les résultats présentent de 6 à 8% d'écart par rapport aux valeurs recommandées et une déviation standard relative inférieure à 4%. Pour les chlorures, les valeurs moyennes sont supérieures aux valeurs recommandées, ainsi que cela avait déjà été observé en 2004 lors de la mise au point de la méthode. Pour les fluorures, l'écart relatif important par rapport à la valeur recommandée de l'échantillon ION915 et la déviation standard relative élevée sont dus aux très faibles teneurs présentes.

Tableau IV : Valeurs recommandées, moyennes et écart-type relatif (RSD) des anions majeurs dans les eaux de référence ION 915 et BMOOS (en mg L⁻¹)

Etalon : ION 915				
	F	Cl	NO3	SO4
Valeur recom	0,05	1,39	1,52	3,40
Moyenne UnB (N = 12)	0,10	1,62	1,61	3,67
RSD UnB	34%	4%	4%	4%
Ecart val recom UnB	103%	17%	6%	8%
Moyenne LMTG (N = 10)	-	1,46	1,64	3,30
RSD LMTG	-	7,5%	4,4%	4,6%
Ecart val recom LMTG	-	5,3%	8,1%	-2,9%
Etalon : BMOOS				
	F	Cl	NO3	SO4
Valeur recom	-	0,44	1,82	5,50
Moyenne UnB (N = 12)	0,15	0,64	1,94	5,93
RSD UnB	38%	14%	2%	4%
Ecart val recom UnB	-	45%	7%	8%

Eléments en traces

La détermination des éléments en traces, y compris les terres rares, est effectuée par ICP-MS au moyen de l'équipement Perkin Elmer Elan 6000 du LMTG. L'eau de référence SLRS 4 est utilisée afin de vérifier la reproductibilité des analyses et leur justesse. Les valeurs obtenues cette année sont reprises au tableau V.

Tableau V : Valeurs recommandées, moyennes et écart-type relatif (RSD) des éléments traces dans l'eau de référence SLRS 4 (N = 9) analysés par ICP-MS (en µg L⁻¹)

	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Zr	Mo	Ba	Pb	U
Valeur recom	1,46	0,32	0,33	3,37	0,033	0,67	1,81	0,93	0,68	1,53	0,12	0,21	12,2	0,086	0,05
Moyenne LMTG	1,46	0,38	0,39	3,49	0,04	0,73	2,05	0,87	0,80	1,60	0,11	0,22	13,23	0,09	0,05
RSD LMTG	10%	10%	13%	8%	15%	7%	8%	2%	10%	5%	38%	6%	7%	5%	6%
Ecart val recom	0%	20%	18%	3%	11%	8%	13%	-6%	18%	4%	-5%	5%	8%	1%	-1%
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
Valeur recom	0,287	0,360	0,069	0,269	0,057	0,008	0,034	0,004	0,024	0,005	0,013	0,002	0,012	0,002	
Moyenne LMTG	0,301	0,377	0,072	0,279	0,062	0,009	0,030	0,004	0,024	0,005	0,014	0,002	0,013	0,002	
RSD LMTG	6%	6%	7%	5%	7%	36%	21%	15%	8%	8%	11%	25%	11%	25%	
Ecart val recom	5%	5%	3%	4%	9%	8%	-13%	-2%	-1%	5%	3%	44%	8%	12%	

Isotopes du Sr

Conformément au cahier des charges de l'ORE, des déterminations du rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ont été effectuées sur des échantillons provenant des quelques stations. La méthodologie utilisée comporte une séparation des isotopes du Sr par résines échangeuses (type Sr-Spec) après évaporation d'une quantité d'échantillon suffisante pour obtenir 500 ng de Sr (généralement de l'ordre de 15 à 20 ml). La mesure des rapports isotopiques a été effectuée sur le spectromètre de masse à thermo-ionisation Finnigan Mat 261 du LMTG. L'exactitude est contrôlée par la mesure du standard international NBS 987 ; les valeurs obtenues donnent une moyenne de $0,710245 \pm 0,000040$ (N=5) pour ce standard.

Dans un premier temps, des mesures ont été effectuées sur un échantillon de toutes les stations de l'ORE, sauf Ciudad Bolivar, afin d'obtenir une valeur de référence pour chacune des stations (tableau VI). Compte tenu des faibles variations à l'intérieur d'un même bassin, les mesures systématiques au pas de temps trimestriel sont poursuivies sur 9 des 17 stations, à savoir :

- Manacapuru , Serrinha, Tabatinga, Rurrenabaque,, Borja et Coca, afin de suivre les principaux formateurs de l'Amazone depuis les piémonts andins,
- Obidos, station de contrôle aval du bassin,
- Saut Maripa contrôle du bouclier guyanais.

Les échantillons de la station de Ciudad Bolivar seront également analysés afin de disposer de valeurs sur le bassin de l'Orénoque.

Pour le fleuve Congo, déjà longuement étudié au point de vue isotopique au cours de programmes antérieurs (PIRAT et PEGI), une mesure sur la station de Brazzaville en juin 2005 a confirmé la stabilité des valeurs.

Tableau VI : Rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ des stations de l'ORE Hybam

Station	Date	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	SD	Sr ($\mu\text{g L}^{-1}$)
Atalaya	10/06/04	0,70887	0,00005	28
Borja	30/03/04	0,70859	0,00008	52
Caracarai	10/03/04	0,72238	0,00008	18
Coca	19/05/03	0,70721	0,00005	58
Itaituba	09/09/04	0,73027	0,00007	7
Labrea	11/09/04	0,71012	0,00005	45
Langa Tabiki	04/03/04	0,72138	0,00006	9
Manacapuru	10/06/03	0,70910	0,00005	46
Obidos	09/04/03	0,71084	0,00010	42
Porto Velho	10/03/04	0,71745	0,00005	35
Rurre	10/03/04	0,71733	0,00006	42
Saut Maripa	10/06/04	0,71652	0,00013	10
Serrinha	14/09/03	0,72284	0,00008	2
Tabatinga	10/04/03	0,70922	0,00004	129
Brazzaville	16/06/05	0,71873	0,00004	64

Reproductibilité des MES

Les MES mesurées sur les filtres préparés mensuellement lors de la filtration des échantillons pour majeurs, traces et COD ont été comparées aux valeurs obtenues dans le cadre des mesures des MES décennales sur le réseau au Brésil. Les données des stations de Borba, Caracarai, Manacapuru, Obidos, Porto Velho et Tabatinga ont été utilisées pour cette comparaison dont les résultats sont illustrés à la figure 8. Dans l'ensemble, la corrélation est très bonne avec un coefficient de détermination (R^2) de 0,959 pour l'ensemble des valeurs ($N=38$) et une pente un peu supérieure à 1, indiquant des valeurs généralement un peu plus élevées pour les valeurs des MES de l'ORE par rapport à celles du réseau décennal. Cela s'explique par la porosité plus fine des filtres utilisés pour l'ORE ($0,2\mu\text{m}$) par rapport à ceux du réseau ($0,45\mu\text{m}$). La reproductibilité entre les deux séries de mesures est de 19% pour un seuil de probabilité de 95%.

On remarquera sur la figure 8 que les deux séries de données de la station de Tabatinga (entourées en rouge) sont très mal corrélées, les valeurs du réseau étant nettement plus variables que celles de l'ORE. Un examen des sites de prélèvement effectué lors d'une mission en juin 2005 a montré une forte différence de contexte de prélèvement : le point du réseau décennal se situe un peu en aval du port de Tabatinga, dans un bras relativement étroit et peu profond du Solimões alors que le point de prélèvement ORE est situé en amont de la ville, dans une section plus large. Cette dernière est sans doute plus homogène et moins perturbée, notamment par la navigation, que celle du réseau. Un échantillonnage effectué simultanément sur ces deux points le 20/06/05 et filtré immédiatement sur place a donné des valeurs très différentes : 111 mg L^{-1} pour le point du réseau et 194 mg L^{-1} pour le point ORE, ce qui confirme l'hétérogénéité des mesures. Par contre, la conductivité est identique, avec une valeur de $125\ \mu\text{S cm}^{-1}$ mesurée aux deux points le jour de l'échantillonnage. Il serait dès lors sans doute judicieux d'envisager de déplacer le point de prélèvement des MES décennales vers l'amont, de façon à prélever avant l'île séparant le bras brésilien du bras péruvien.

Ajoutons encore que si l'on retire les échantillons de Tabatinga de la corrélation générale, le coefficient de détermination s'améliore notablement puisqu'il passe à 0,981.

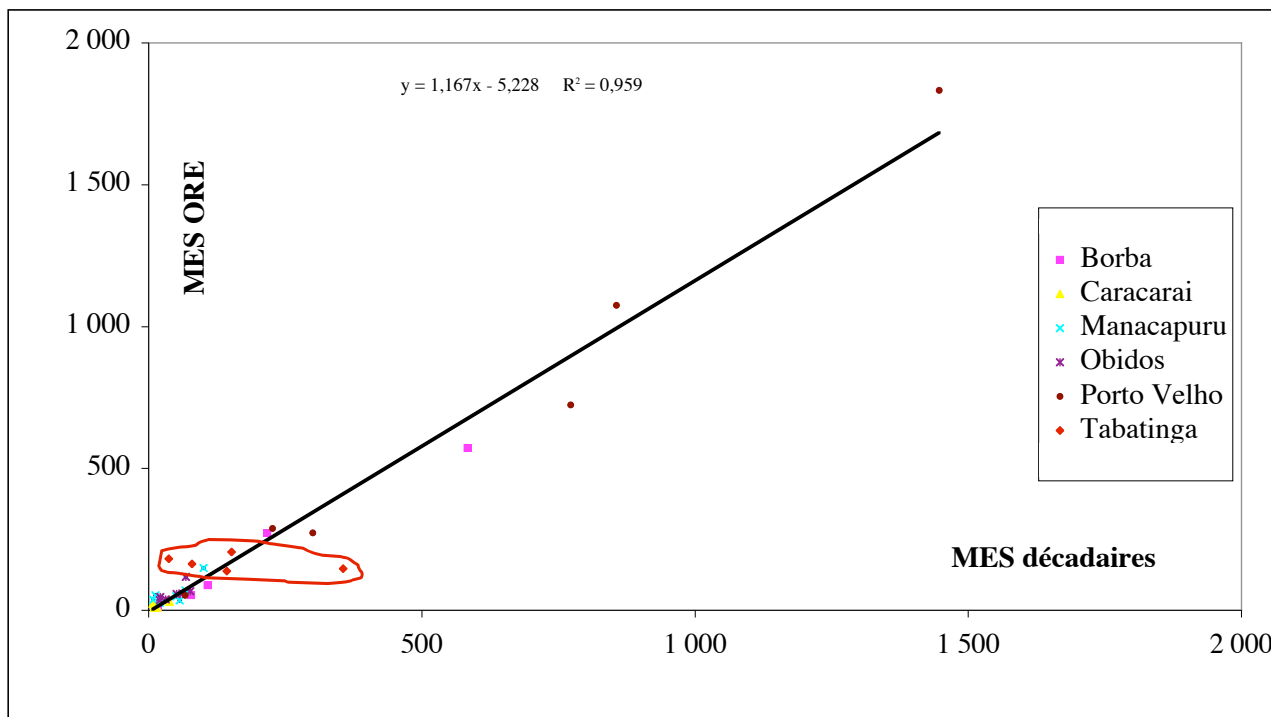


Fig. 8 –Diagramme de dispersion des MES du réseau décennal vs celles de l'ORE (en mg L^{-1})

4. Conclusions et perspectives

Deux stations supplémentaires ont été installées cette année, ce qui porte à 17 le nombre de stations de l'ORE. Ces deux stations sont nouvelles par rapport au projet et trouvent leur justification dans une extension de l'Observatoire Hybam en vue de l'étude comparative du fonctionnement des grands bassins tropicaux péri-atlantiques.

Toutes les stations installées depuis le début de l'Observatoire en 2003 fonctionnent correctement. Le circuit d'approvisionnement en matériel et de collecte des échantillons est bien rodé et ne pose pas de problème particulier, hormis pour les stations de Borba et Serrinha pour lesquelles la procédure de collecte des échantillons devrait être réglé en 2006 comme expliqué au § 2.

Le dispositif analytique est également totalement opérationnel, tant au Brésil qu'au LMTG. La disponibilité du nouvel équipement ICP-OES, commun avec l'ENSAT, est en particulier bienvenue pour effectuer les déterminations des cations majeurs des échantillons prélevés hors du Brésil.

L'ensemble des données analytiques acquises depuis le début du projet a été transféré dans la base de données ; elles sont accessibles en ligne sur le site web de l'ORE. (<http://www.ore-hybam.org>). Le nombre de téléchargements de données effectués depuis l'ouverture du site constitue une preuve de l'utilité des données mises à disposition de la communauté scientifique internationale.

Dans les perspectives pour 2006, l'installation d'une station supplémentaire est prévue en Colombie sur le rio Caqueta. Au point de vue analytique, un effort sera porté sur l'acquisition de données géochimiques (majeurs et traces) et minéralogiques sur les matériaux des filtres stockés depuis le début de l'Observatoire et dont l'analyse vient de commencer en fin d'année.