

## **Biogéochimie du carbone et échanges atmosphériques dans le fleuve et l'estuaire de amazonie : Résultats préliminaires de la campagne CARBAMA-1 (Jan/fev 2007)**

Gwenaël Abril<sup>1</sup>, Marie-Paule Bonnet<sup>2</sup>, Luis Felipe Artigas<sup>3</sup>, Tarik Meziane<sup>4</sup>, Luis R. Takiyama<sup>5</sup>, Marcelo F. Landim de Souza<sup>6</sup>, Jonathan Deborde<sup>1</sup>, Frédéric Guérin<sup>1</sup>, Francine Mathieu<sup>1</sup>, Patricia Moreira-Turcq<sup>2</sup>, Jean-Michel Martinez<sup>2</sup>, Caroline Nérot<sup>4</sup>, Maria Aparecida Macêdo Silva<sup>6</sup> and Patrick Seyler<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Laboratoire EPOC, Environnements et Paléoenvironnements OCéanique, CNRS, Université Bordeaux 1, France. Email : g.abril@epoc.u-bordeaux1.fr

<sup>2</sup> Laboratoire des Mécanismes et Transferts en Géologie, IRD, CNRS, Université Paul Sabatier, Toulouse, France

<sup>3</sup> Station Marine de Wimereux, MREN, Université du Littoral et de la côte d'Opale, Wimereux, France

<sup>4</sup> Biologie des organismes marins et écosystèmes, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, France.

<sup>5</sup> IEPA, Macapa, Amapa, Brasil

<sup>6</sup> Laboratório de Oceanografia Química, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, Bahia, Brasil

### **Abstract**

Today, there is growing evidence that river systems export more terrestrial carbon as CO<sub>2</sub> to the atmosphere than as organic and inorganic carbon to the ocean. CO<sub>2</sub> outgassing from river systems is due to both direct CO<sub>2</sub> inputs from soils and to the net heterotrophy, fueled by terrestrial organic matter (OM), that prevails in aquatic systems. This CO<sub>2</sub> outgassing needs to be better understood and more precisely quantified in order to satisfactorily assess the net carbon budget of the continents. It has recently been estimated that the Amazon river and floodplains could emit up to 0.5 GtC.y<sup>-1</sup>, that is 10 times more than the export to the ocean. This estimate is however very imprecise, first, because it is based on few measurements and mainly in the main stems of the Amazon river and not in the floodplains and, second, because it doesn't account for the estuarine region downstream. In addition, the organic carbon budget associated to this CO<sub>2</sub> outgassing is still not established. The CARBAMA project aims to describe the spatial and temporal variations of CO<sub>2</sub> outgassing on each subsystem that constitute the Amazon river network (main stem and major tributaries, floodplains, estuary and tidal wetland including mangroves), using original and automatic techniques for measuring the CO<sub>2</sub>

concentrations and fluxes. In each sub-systems, we also study quantitatively the dynamics of OM coming from the watershed and from the aquatic primary production, using their isotopic composition and fatty acids as tracers of sources, transfers and degradation of OM between the different compartments of the River system, and by combining field measurements and batch incubations. Finally, we develop an original large scale modeling approach that will simulate the hydrological and biogeochemical cycles in the different sub-systems of the river that will allow relate OM production and degradation to CO<sub>2</sub> outgassing to the atmosphere. In the present communication, we will show original results from the first CARBAMA cruise (Jan/Feb 2007) and more precisely, those obtained in a freshwater, forest tidal creek 60km upstream of Macapá, during a 24h cycle. We show that the tidal inundation of forest soils results in an export of dissolved carbon (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and dissolved organic) to the Amazon estuary main stem. In contrast, particulate materials from the Amazon River are trapped in the tidal forest soils each high tide.

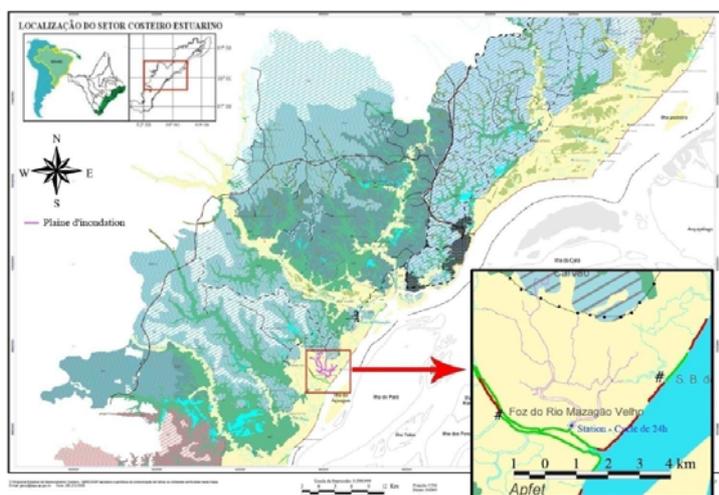
## **Introduction**

Afin de mieux comprendre la distribution du carbone anthropique sur Terre dans la perspective du réchauffement global, les échanges de CO<sub>2</sub> et de CH<sub>4</sub> entre l'atmosphère, la biosphère et l'hydrosphère doivent être quantifiés plus précisément. Pour le CO<sub>2</sub> par exemple, une précision dans les flux meilleure que une gigatonne de carbone par an (GtC/an) est nécessaire. Ceci implique une meilleure discrimination des flux échangés entre les surfaces continentales et océaniques et l'atmosphère, en tenant compte de toutes leurs hétérogénéités. Des travaux récents ont montré que des surfaces aquatiques continentales et côtières relativement petites comme les lacs, fleuves, estuaires et lagunes, peuvent être des sources significatives de carbone atmosphérique. La zone tropicale est une des régions les plus actives en termes d'échanges de CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub>, tant sur les continents qu'au niveau des océans. L'Amazone est le plus grand fleuve au monde et contribue pour 15% au transport d'eau douce à l'océan. Richey et al. (2002) estiment que le fleuve Amazone (et ses plaines d'inondation, soit une surface de 300 000 km<sup>2</sup>) émet vers l'atmosphère 0.5GtC/an de CO<sub>2</sub>, soit 10 fois plus de carbone que ce qu'il transporte sous forme organique vers l'océan. Par ailleurs, Mayorga et al. (2005) ont montré par des mesures de carbone 14 que le CO<sub>2</sub> dégazant au niveau du fleuve était jeune (moins de 5 ans) nettement plus jeune que la majorité de la matière organique transportée par le fleuve (100-1000 ans). Ceci met en évidence l'extrême rapidité du recyclage de carbone entre la végétation, les sols et enfin, le milieu aquatique où il rejoint à nouveau l'atmosphère. Une conséquence majeure de ces travaux est que si l'on ne tient pas compte du dégazage de carbone par les surfaces aquatiques, on surestime le pompage de carbone par la biosphère continentale.

Tous ces travaux en Amazonie ne concernent que la zone strictement fluviale de l'Amazonie, c'est-à-dire en amont de la ville d'Óbidos. Il n'existe aujourd'hui aucune donnée de CO<sub>2</sub> ou de CH<sub>4</sub> dans la zone estuarienne influencée par la marée et dont la surface est estimée à 45 000 km<sup>2</sup>. Or nous savons depuis quelques années par des études en zone tempérée, que le milieu estuarien est particulièrement propice au dégazage de CO<sub>2</sub> (Frankignoulle et al. 1998 ; Cai et al. 1999). D'autre part, cette région de l'Amazonie est entourée de forêt tidale et de mangroves, qui comptent parmi les écosystèmes les plus productifs sur Terre. Or des travaux récents montrent que le lessivage semi diurne des mangroves transporte du carbone vers les eaux estuariennes et marines alentour, soit sous forme organique dissoute (Dittmar et al. 2006) sous forme de CO<sub>2</sub> (Borges et al. 2003) et sous forme CH<sub>4</sub> (Barnes et al. 2006). Ces flux alimentent la respiration aquatique et le dégazage de CO<sub>2</sub> et de CH<sub>4</sub> par ces surfaces aquatiques. Ainsi, au cours de la campagne CARBAMA1, avons nous cherché à comprendre les échanges de carbone entre l'estuaire de l'Amazonie et la forêt tidal adjacente.

## Matériel et méthodes

Pendant un cycle de 24h (soit ~2 cycles de marée), les 8-9/02/2007 nous avons échantillonné en point fixe un chenal d'alimentation d'une forêt tidale située environ à 60km à l'amont de Macapá. Le point de prélèvement est situé sur le Rio Mazagão Velho au niveau d'un petit affluent qui draine une superficie de forêt tidale de 20.3 km<sup>2</sup> (Figure 1A). La forêt est alimentée en grande majorité par des eaux de l'Amazonie qui recouvrent ses sols à chaque marée. La pression partielle en CO<sub>2</sub> ainsi que la température et la conductivité ont été mesurés dans les eaux de surface en continu à l'aide d'un équilibrateur connecté à un analyseur IR de CO<sub>2</sub> (Figure 1 B.).



**Figure 1.** A : Carte de la zone d'étude sur la rive gauche de l'estuaire de l'Amazonie (source : IEPA). B : Photo de l'équilibrateur permettant d'acquérir la pCO<sub>2</sub> dans l'eau en continu.

Toutes les heures, des échantillons d'eau ont été prélevés et conditionnés, afin de mesurer les concentrations en méthane, matières en suspension et en carbone organique particulaire et dissous. La hauteur d'eau ainsi que les vitesses de courant ont aussi été mesurées en continu à l'aide d'un courantomètre ADCP.

## Résultats et discussion

Au cours des deux cycles de marée échantillonnés, les concentrations de tous les paramètres ont montré de fortes variations qui témoignent d'échanges entre le chenal principal de l'Amazone et la forêt tidal qui est inondée à chaque marée. Deux comportements peuvent être distingués (Figure 2). La  $p\text{CO}_2$  et la concentration en  $\text{CH}_4$  sont minimaux à pleine mer, lorsque les eaux de l'Amazone viennent d'entrer dans le chenal et maximaux à marée basse, après passage sur les sols de la forêt. Ceci témoigne d'un apport très important de gaz dissous issus de la respiration des sols vers la colonne d'eau, puis vers l'estuaire de l'Amazone avec le jusant. Les pressions partielles en  $\text{CO}_2$  sont toujours supérieures à celles de l'atmosphère (380 ppmv).

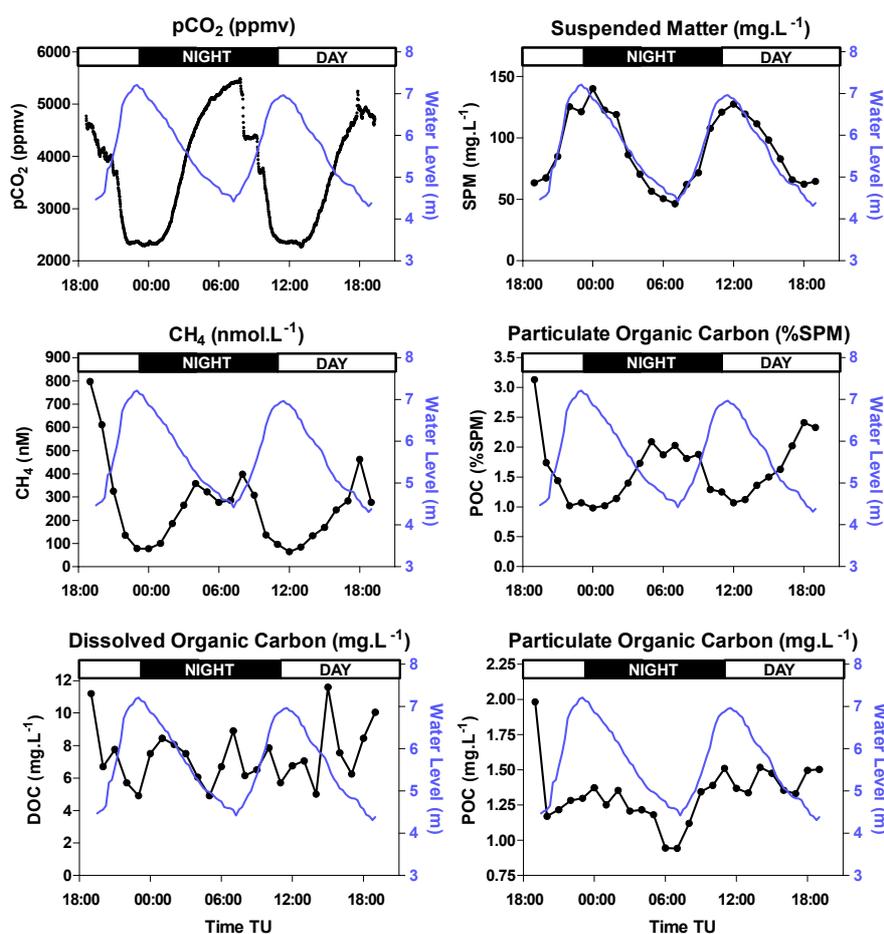


Figure 2 : évolutions temporelles des concentrations et de la hauteur d'eau au cours du cycle de 24h dans la forêt tidale.

Au contraire, les concentrations en matières en suspension sont minimales à basse mer ce qui indique un piégeage de particules amazoniennes dans les sols de la forêt tidale au moment de la pleine mer. Les particules présentes à basse mer sont enrichies en carbone organique, témoignant soit d'une mobilisation de débris végétaux de litière, soit d'une contribution de phytoplancton. Des analyse isotopiques et de chlorophylle sont en cours pour interpréter ces résultats.

L'évolution des courants de marée (pas montré) indiquent que le bilan hydrique de la forêt tidale était négatifs (il entrait davantage d'eau qu'il n'en sortait) au cours de l'expérience. En effet, en cette période de l'année, l'Amazone est en période de montée des eaux et ce qui se traduit par une inondation de la forêt tidal superposée à l'effet de la marée. Cette expérience devra être répétée à diverses phases du cycle hydrologique de l'Amazone si l'on veut quantifier le rôle des forêts tidales en tant qu'exporteurs de carbone vers l'estuaire.

## **Bibliographie**

- Barnes J., Ramesh R., Purvaja R., Nirmal Rajkumar A., Senthil Kumar B., Krithika K., Ravichandran K, Uher G., Upstill-Godard R. Tidal dynamics and rainfall control N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions from a pristine mangrove creek. *Geophysical Research Letters*, submitted.
- Borges A.V., S. Djenidi, G. Lacroix, J. Théate, B. Delille & M. Frankignoulle (2003) Atmospheric CO<sub>2</sub> flux from mangrove surrounding waters, *Geophysical Research Letters*, 30(11): 1558, doi: 10.1029/2003GL017143.
- Cai WJ, Pomeroy LR, Moran MA and Wang Y (1999) Oxygen and carbon dioxide mass balance for the estuarine-intertidal marsh complex of five rivers in the southeastern U.S. *Limnol. Oceanogr.* 44; 639-649.
- Mayorga E, Aufdenkampe AK, Masiello CA, Krusche AV, Hedges JI, Quay PD, Richey JE and Brown TA (2005) Young organic matter as a source of carbon dioxide outgassing from Amazonia rivers. *Nature* 436 : 538-541.
- Richey JE, Melack JM, Aufdenkampe AK, Ballester VM, Hess LL (2002) Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nature* 416: 617-620.