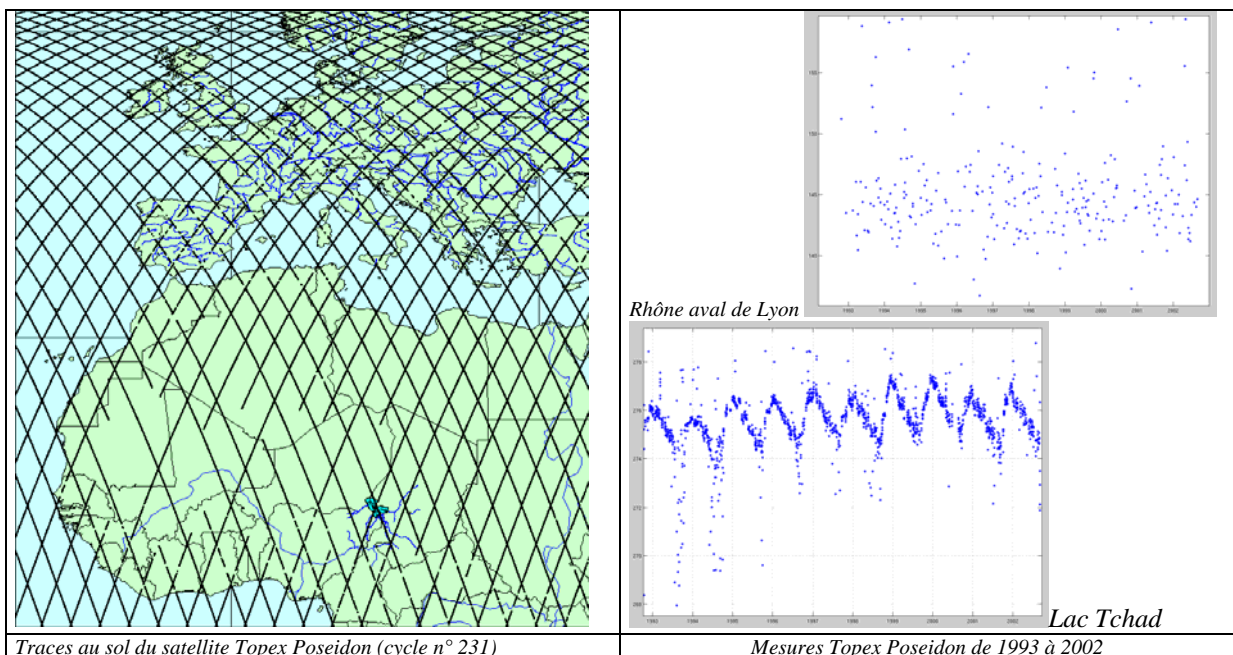


**Altimétrie satellitaire radar et suivi des niveaux de cours d'eau :**  
**qualification des mesures satellitaires et fusion données satellitaires / données in situ**  
UMR TETIS – US OBHY – UMR Hydrosociences – UMR GEAU *rapport au 20/04/2006*  
Contact : Pascal Kosuth, UMR TETIS [pascal.kosuth@teledetection.fr](mailto:pascal.kosuth@teledetection.fr) Tel. 04 67 54 87 52

**Rappel des enjeux et objectifs de l'étude :**

L'altimétrie satellitaire radar s'est développée dans les années 1980 pour passer en phase pré-opérationnelle à partir de 1992 avec les satellites ERS et Topex Poseidon puis Envisat et Jason. Elle a été initialement conçue pour mesurer le niveau des océans, par la combinaison d'une technique radar permettant de déterminer la distance du satellite à une surface réfléchissante et d'une technique de positionnement satellitaire permettant la localisation très précise (centimétrique) du satellite.

A partir de la fin des années 1990 les mesures d'altimétrie radar ont été exploitées sur les mers intérieures, les grands lacs puis les grands fleuves. Différentes applications ont montré la pertinence des mesures satellitaires sur les grands fleuves, mais également les problèmes de précision associés à cette mesure.



Les recherches se sont alors développées dans trois directions :

- Le développement de protocoles de caractérisation de la « qualité » de la mesure d'altimétrie radar sur les plans d'eau continentaux
- l'amélioration des algorithmes de traitement des formes d'onde des échos radar pour augmenter la qualité de ces mesures
- le développement de nouvelles techniques de mesure (lidar, interférométrie radar,...)

La présente étude porte sur la première de ces trois directions.

L'objectif de l'étude est double :

- (1) développer une méthodologie reproductible permettant de qualifier a posteriori ou a priori (respectivement avec ou sans confrontation à des données terrain) des séries temporelles de niveaux de cours d'eau reconstituées à partir de mesures satellitaires d'altimétrie radar,
- (2) tester dans le cadre de différentes applications hydrologiques la pertinence des données de niveaux obtenues par altimétrie satellitaire radar en analysant la propagation dans les modèles et les chaînes de traitement des erreurs associées à cette technologie.

Une telle méthodologie permettra d'une part de faire évoluer la technologie de l'altimétrie satellitaire radar (capteurs, algorithmique,...) en quantifiant les progrès en terme de précision, et d'autre part de fournir aux acteurs des sciences hydrologiques et de la gestion de l'eau, des jeux de données satellitaires assortis d'une marge d'erreur de façon à ce qu'ils puissent les utiliser en connaissance de cause.

**Travaux réalisés**

La méthodologie du Projet est organisée en 5 étapes.

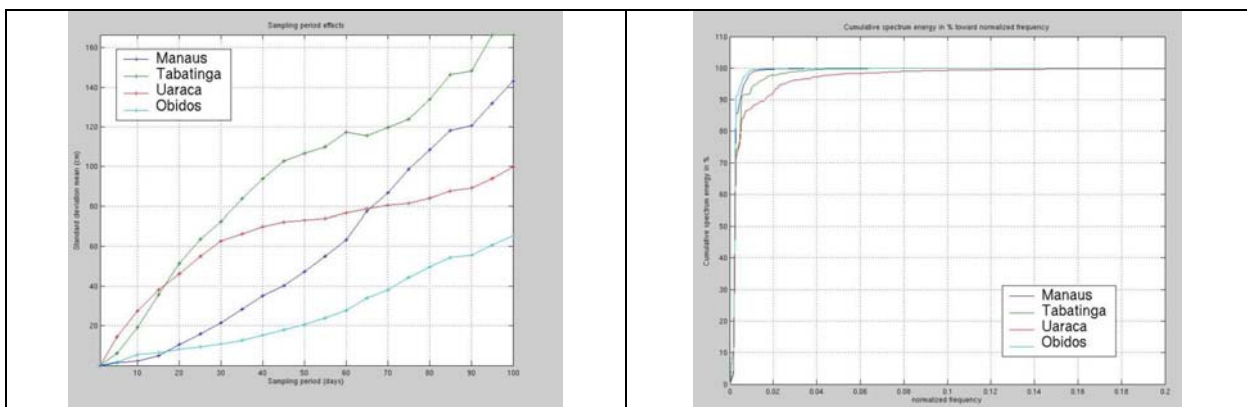
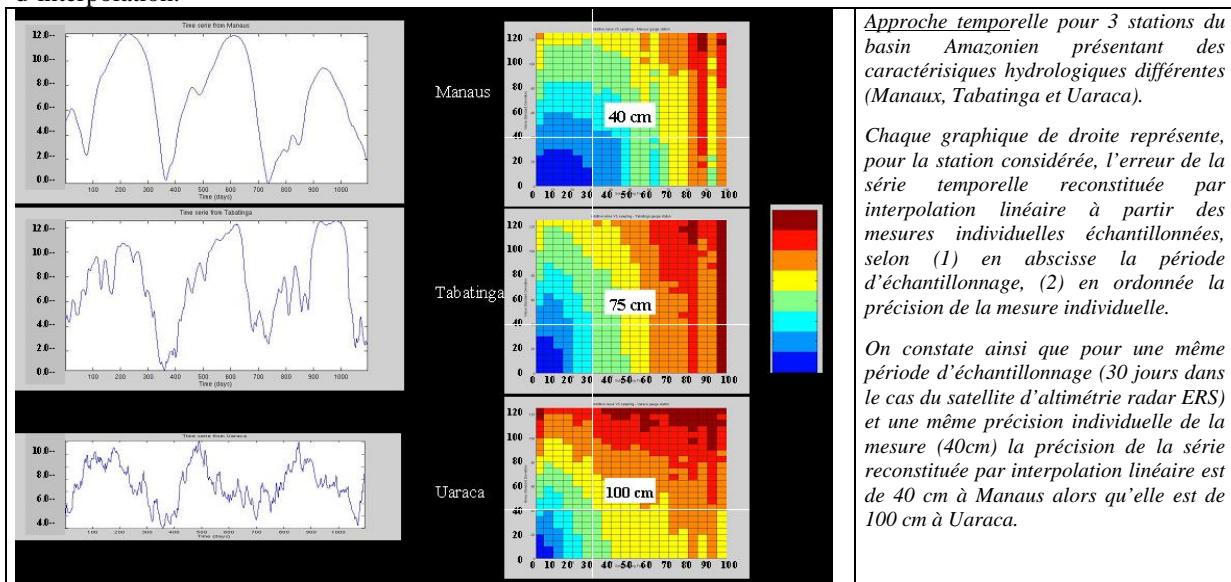
- Etape 1. Analyse de la qualité de l'échantillonnage temporel par les satellites d'altimétrie radar.
- Etape 2. Analyse de la précision de la mesure satellitaire.
- Etape 3. Développement d'une méthode de « qualification » du suivi de niveaux par altimétrie satellitaire radar (précision associée à la mesure et à l'échantillonnage).
- Etape 4. Analyse des déterminants de la qualité : morphologie, hydrologie, algorithmes de retracking, algorithme d'interpolation.
- Etape 5. Fusion de donnée et propagation d'erreur dans les traitements et les modèles.

Les étapes 1 à 3 ont été abordées

**Etapes 1 :**

L'échantillonnage temporel théorique est de 10 jours pour les satellites Topex Poseidon et Jason et de 35 jours pour les satellites ERS et Envisat. Ainsi l'échantillonnage temporel est « pauvre » et toute tentative de « suréchantillonnage », c'est à dire de reconstitution d'une série de valeurs à une période plus petite (par exemple reconstitution d'une série de valeurs journalières), va introduire une erreur qui dépend de l'hydrologie du cours d'eau.

Une étude théorique a été menée sur l'impact combiné (1) de la précision de mesure et (2) de la période d'échantillonnage du satellite, sur la précision finale de la série journalière reconstituée par interpolation. Les travaux ont porté sur 4 facteurs variables : différentes précisions de la mesure individuelle du satellite et différentes périodes d'échantillonnage, mais également différentes séries hydrologiques et différentes méthodes d'interpolation.



**Approche temporelle :** mesure exacte et impact de la fréquence d'échantillonnage sur la précision de la série reconstituée par interpolation linéaire, pour 4 stations du bassin Amazonien de caractéristiques hydrologiques différentes

**Approche fréquentielle :** spectre de fréquence (puissance cumulée fonction de la fréquence) des 4 stations du bassin Amazonien. La station de Uaraca a un spectre plus étalé dans les hautes fréquences. Un échantillonnage basse fréquence ne permet pas de reconstituer précisément le signal.

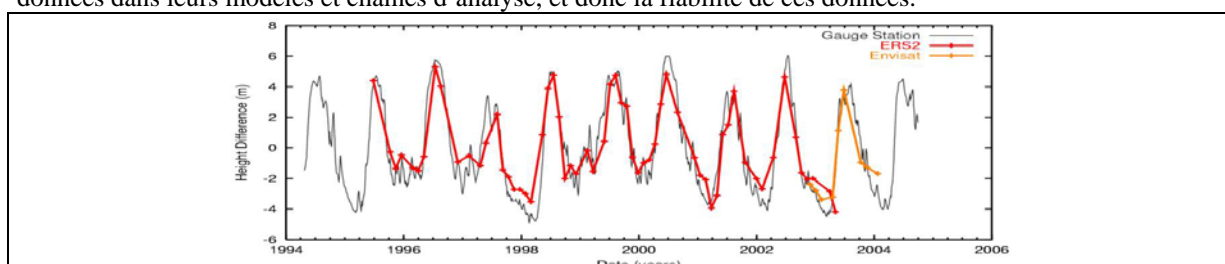
Deux approches ont été menées en parallèle : une approche temporelle et une approche fréquentielle (par analyse de Fourier). Alors que l'approche temporelle est classique en hydrologie et fournit des résultats (écart-types entre deux séries) directement interprétables par les hydrologues, l'approche fréquentielle est plus générique et adaptée à la problématique : elle caractérise le signal « niveau du cours d'eau » par sa distribution en spectre de fréquence ce qui permet de quantifier la part du signal (fraction de puissance du signal) qui pourra être reconstituée à partir d'une mesure satellitaire à une fréquence donnée.

Les travaux se poursuivent pour établir une passerelle entre ces deux approches temporelle et fréquentielle. Ceci permettrait de mener une analyse fréquentielle générique puis d'en traduire les résultats en termes hydrologiques. Les avancées ont été présentées en communication orale lors des Assemblées Générales de l'EGU 2005 et 2006 ainsi qu'au Symposium « 15 ans de progrès en altimétrie radar » organisé à Venise (mars 2006) par le CNES et l'ESA, les deux principales agences spatiales (avec la NASA) impliquées dans l'altimétrie radar. Pascal Kosuth était chairman d'une session « Water storage, level and discharge from remote sensing and geodesy » lors de l'Assemblée Générale de l'EGU 2006 (Vienne Avril 2006).

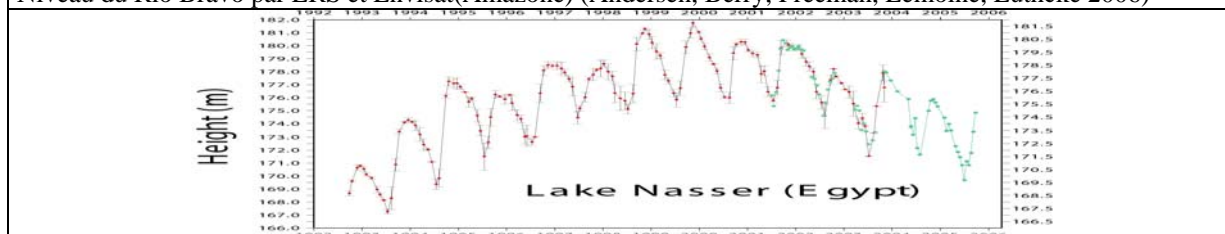
### Etape 2 :

Une base de données a été constituée à l'UMR TETIS avec l'ensemble des données des satellites Topex Poseidon et Jason. Elle sera complétée ultérieurement avec les données de ERS et Envisat. Des utilitaires d'extraction, de visualisation et de traitement sont en cours de développement.

Plusieurs équipes travaillant dans le traitement de ces données satellitaires fournissent des séries de données résultant de différents algorithmes de traitement des formes d'ondes. Les résultats sont généralement présentés avec une interpolation linéaire entre les points de mesure et pas de quantification de l'erreur ou incertitude de mesure (voir figures ci-dessous). Cela pénalise fortement la possibilité pour les hydrologues d'utiliser ces données dans leurs modèles et chaînes d'analyse, et donc la fiabilité de ces données.



Niveau du Rio Bravo par ERS et Envisat(Amazone) (Andersen, Berry, Freeman, Lemoine, Luthcke 2006)

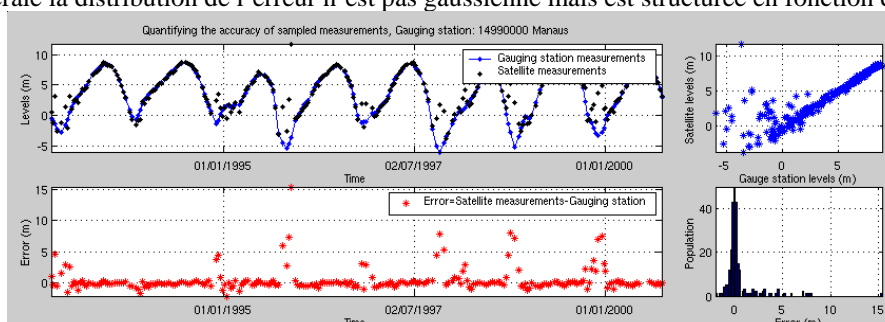


Niveau du Lac Nasser par Topex/Poseidon et Jason (Lilibridge, Calmant, Lellouch, 2006)

Nous avons développé une méthode de quantification de la précision des mesures satellitaires par confrontation avec les données in situ.

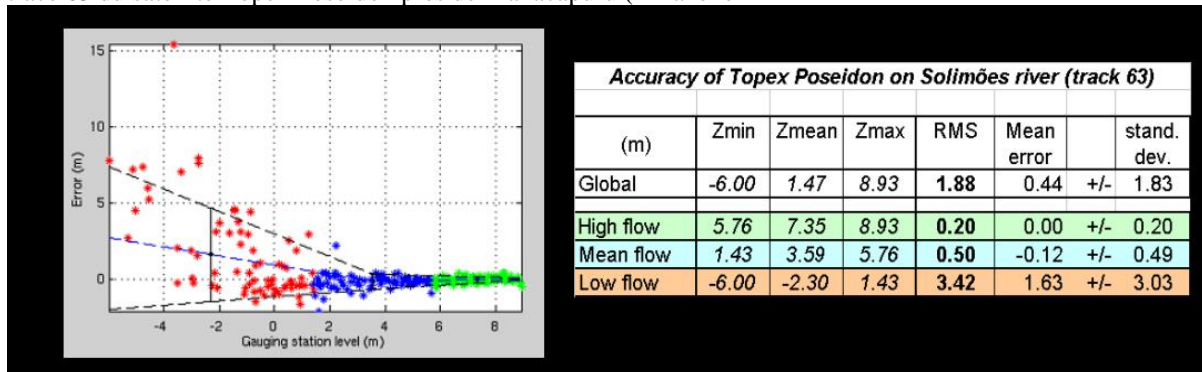
- (1) Cette méthode passe par une première phase de reconstitution d'une série « in situ » sur la trace du satellite par interpolation polynomiale (polynôme de degré N+1 passant par N stations et minimisant l'énergie du profil longitudinal (dérivée seconde)).
- (2) L'erreur entre mesures in situ reconstituées et mesures satellitaires (issues d'un satellite, d'un algorithme de retracking des formes d'onde et d'une méthode de quantification du niveau (fenêtre de mesure, algorithme, filtrage des mesures aberrantes)) est alors analysée.

De façon générale la distribution de l'erreur n'est pas gaussienne mais est structurée en fonction du niveau



**Etape 3 :**

Il en résulte une méthode de quantification de la précision de la mesure satellitaire illustrée ci-dessous pour la trace 63 du satellite Topex Poseidon près de Manacapuru (Amazone)



Les résultats de ces travaux ont été présentés lors de l'Assemblée Générale de l'EGU 2006 Vienne avril 2006) ainsi qu'au Symposium « 15 ans de progrès en altimétrie radar » Venise (mars 2006)

Ces travaux permettront d'aborder dès mai 2006 l'analyse de la précision des mesures satellitaires sur un grand nombre de rivières, en collaboration avec d'autres équipes de l'IFR ILEE. Les premiers travaux porteront sur les fleuves français (notamment le Rhône), le fleuve Niger et le Lac Tchad en collaboration entre Unités de l'IFR ILEE (UMR TETIS, US OBHY, UMR Hydrosociétés). L'analyse comparative des résultats pour différents satellites et dans différents contextes hydrologiques et morphologiques permettra d'engager l'étude de l'étape 4.

**Communication à Colloques (9) :**

P. Kosuth, N. Bercher, J. Bruniquel, F. Seyler, 2005. "Satellite radar altimetry measurements of river water levels : quantifying the accuracy and sampling efficiency » Annual Congress of EGU European Geosciences Union annual symposium Vienne Avril 2005 (presentation orale)

P. Kosuth, D. Blitzkow, G. Cochonneau, 2006. "Establishment of an Altimetric Reference Network over the Amazon Basin using Satellite Radar Altimetry (Topex Poseidon)" ESA-CNES Symposium "15 years of progress in radar altimetry", Venise Mars 2006 (presentation orale)

N. Bercher, P. Kosuth, J. Bruniquel, 2006 "Characterizing the quality of river water level time series derived from satellite radar altimetry: Efforts toward a standardized methodology" ESA-CNES Symposium "15 years of progress in radar altimetry", Venise Mars 2006 (presentation orale)

P. Kosuth, 2006, « Hydrologie et Télédétection : Altimétrie, géodésie et gravimétrie appliquées à l'Hydrologie » Assemblée Générale du CNFGG – Hydrologie Paris 21 mars 2006 (conférence invitée)

T. Tormos, P. Kosuth, S. Durrieu, J.G. Wasson, H. Pella, B. Villeneuve, 2006 « Remote-sensing for the spatial analysis of land use in river corridors" Annual Congress of EGU European Geosciences Union annual symposium Vienne Avril 2006 (presentation de poster)

N. Bercher, P. Kosuth, 2006 "Quality of river water level time series issued from satellite radar altimetry : influence of river hydrology and satellite measurement accuracy and frequency" Annual Congress of EGU European Geosciences Union annual symposium Vienne Avril 2006 (presentation de poster)

P. Kosuth, D. Blitzkow, G. Cochonneau, 2006 "Comparison of Spirit levelling, bi-frequency GPS positioning and satellite radar altimetry", Annual Congress of EGU European Geosciences Union annual symposium Vienne Avril 2006 (presentation de poster)

J. Benveniste J., P.A. Berry, A. Cazenave, P. Kosuth, 2006 "Fifteen Years of Progress in Radar Altimetry for Hydrology", Annual Congress of EGU European Geosciences Union annual symposium Vienne Avril 2006 (conference invitée)

F. Papa, C. Prigent, F. Aires, W.B. Rossov, P. Kosuth, 2006 « Satellite Monitoring of Inundation Dynamics at Global Scale over a Decade", Annual Congress of EGU European Geosciences Union annual symposium Vienne Avril 2006 (presentation orale)