



Groupe de Recherche de Géodésie Spatiale

Bureau des Longitudes
Centre National d'Etudes Spatiales
Institut Géographique National
Observatoire de Paris
Institut National des Sciences de l'Univers
Observatoire de la Côte d'Azur
Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
Observatoire Midi-Pyrénées
Université de Polynésie Française
Conservatoire National des Arts et Métiers

Rapport d'Activité 2009

Mars 2010

Présenté par

Nicole CAPITAINE

Présidente du Conseil Scientifique

Richard BIANCALE

Directeur Exécutif

Réalisation technique : Christine Julienne (Géoazur, OCA)

AVANT-PROPOS

Le Groupe de Recherche de Géodésie Spatiale (GRGS), fondé en 1971, fonctionne actuellement selon un protocole signé entre les dix organismes suivants : Bureau des longitudes (Bdl), Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Institut Géographique National (IGN), Observatoire de Paris (OP), Institut National des Sciences de l'Univers (INSU/CNRS), Observatoire de la Côte d'Azur (OCA), Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM), Observatoire Midi-Pyrénées (OMP), Université de Polynésie Française (UPF), et Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM).

Le but du GRGS est de fédérer les activités de géodésie spatiale en France et développer les coopérations internationales dans ce domaine. Selon la charte d'organisation du GRGS, le *Comité Directeur*, qui est constitué par les Directeurs ou Présidents des organismes membres du GRGS, détient l'autorité du Groupe. Le Directeur exécutif dispose d'un *Bureau Exécutif* qui est chargé de préciser la mise en œuvre matérielle des décisions du Comité Directeur et d'un *Conseil Scientifique*. Ce dernier est chargé de coordonner les activités scientifiques du GRGS. Le fonctionnement du GRGS comprend une réunion annuelle du Comité Directeur, du Bureau Exécutif et du Conseil Scientifique, ainsi que des réunions supplémentaires sur des thèmes spécifiques, des réunions de groupe de travail et la présentation des activités GRGS lors de réunions, telles que celle de la section de Géodésie du CNFEGG.

La partie A de ce rapport d'activité donne, selon l'usage, la composition 2009 des conseils du GRGS et fournit des éléments d'information sur le personnel et le budget 2009. La liste complète du personnel est donnée en Annexe. Elle comprend dorénavant des membres de l'Institut de Mécanique Céleste et du Calcul des Ephémérides (IMCCE), équipe de l'Observatoire de Paris qui a incorporée au GRGS après approbation du *Comité Directeur* lors de sa réunion de mai 2009.

Les activités du GRGS, résumées dans la partie B du rapport d'activités, résultent de coopérations entre les différentes équipes du GRGS. Le rapport, présenté par thèmes scientifiques, comporte des contributions à la géodésie spatiale au niveau des observations, du traitement de données, de la modélisation et de la théorie.

L'année 2009 a été marquée par l'inauguration des stations laser du plateau de Calern dans leur nouvelle configuration après l'opération T2000 et la reprise des tirs laser sur la Lune depuis la station MEO, la reprise également des tirs laser à l'Observatoire géodésique de Tahiti après une longue période d'arrêt (due à une panne) et de travaux, le lancement du satellite GOCE, la formation et le pilotage par le GRGS d'un groupe de travail sur les combinaisons des techniques spatiales au sein de l'IERS (COL), la réalisation presque achevée de ITRF2008 et la nomination de B. Garayt (IGN) comme coordinateur des repères de référence de l'IGS (International GNSS Service).

En 2009, le GRGS a en outre rénové son site web, tenu diverses réunions de coopération, avec l'Observatoire Royal de Belgique (ORB) en planétologie et le GeoForschungsZentrum (GFZ) en gravimétrie spatiale. Certains membres ont répondu en coopération européenne à divers appels d'offre, en proposant le programme « *Advanced Thermosphere Modelling for Orbit Prediction* » dans le cadre du 7^{ème} PCRD de la CE, en proposant le projet de mission gravimétrique « *E.motion* » à l'ESA, candidat à la prochaine mission « *Earth Explorer-8* ». Certains sont activement impliqués dans les services scientifiques internationaux, IERS, ILRS, IVS, IGS, IDS, BGI, ICET, assurant ainsi une représentation forte de notre communauté nationale auprès des instances scientifiques internationales, telles que l'IAG et l'UAI.

Le GRGS a été co-organisateur, avec l'Observatoire de la Côte d'Azur et le Bureau des longitudes, le 14 avril 2009, au plateau de Calern, de la cérémonie d'inauguration de la station laser renouée MEO, associée à un hommage aux fondateurs du CERGA, Jean Kovalevsky et François Barlier, qui ont beaucoup œuvré pour le développement de ce site d'observations géodynamiques et astronomiques, ainsi que, plus généralement, pour le GRGS. Le GRGS a tenu la réunion annuelle 2009 de son Conseil scientifique à l'OCA à Grasse, le jour suivant cette cérémonie, avec une demi-journée consacrée à une séance scientifique ouverte à la communauté scientifique portant sur l'avenir de la technique de télémétrie laser sur satellites.

La partie C du rapport donne un résumé de cette manifestation exceptionnelle, ainsi que des réunions scientifiques :

- de la session scientifique ouverte du *Conseil Scientifique* du 15 avril 2009, tenue à l'OCA à Grasse;
- de la réunion du *Conseil Scientifique* du 27 octobre 2009, principalement consacrée à différentes questions urgentes pour l'avenir du GRGS, en particulier de ses sites d'observations géodésiques, ainsi que de l'organisation de l'Ecole d'été GRGS 2010. Cette réunion a permis d'initialiser la préparation des dossiers relatifs aux projets de réalisation d'une nouvelle station laser mobile et de labellisation des « Observatoires Géodésiques » soumis à l'INSU.

Suivant le cycle adopté en 2004, le rapport 2009 résume les progrès et les résultats obtenus depuis la fin 2008, en se limitant aux faits marquants et aux nouvelles publications. Tous les quatre ans, un rapport plus détaillé sert de base à l'examen quadriennal par le Groupe d'évaluation scientifique. Les travaux et les expériences en cours décrites dans le présent rapport seront examinés par le Conseil Scientifique du GRGS lors de sa réunion annuelle en mars 2010. Ce Conseil discutera également de la prospective et des avancées scientifiques pouvant concerner directement ou indirectement le GRGS. Un bilan sera présenté au Comité Directeur en mai 2010.

Nicole Capitaine, Richard Biancale

Présidente du Conseil Scientifique et Directeur Exécutif

TABLE DES MATIÈRES

	<u>Pages</u>
<i>AVANT PROPOS</i>	3
<i>TABLE DES MATIÈRES</i>	5
<i>LISTE DES RÉDACTEURS</i>	7
A - DONNÉES ADMINISTRATIVES	9-14
Organismes membres et structure (en 2009)	11
Budget et personnel (en 2009)	14
B - EXPÉRIENCES ET TRAVAUX	
1 - OBSERVATOIRES GÉODÉSIQUES	
1.1. Observatoire de la Côte d'Azur	19
1.2. Observatoire de Tahiti	24
1.3. Systèmes d'observations marégraphiques	29
2 - MÉCANIQUE ORBITALE ET CHAMP DE GRAVITÉ DE LA TERRE	
2.1. Mécanique orbitale	35
2.2. Champ de gravité de la Terre	
2.2.1. Missions spatiales	38
2.2.2. Altimétrie haute résolution	43
2.2.3. Bureau Gravimétrique International	46
3 - SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE	
3.1. Systèmes de référence et rotation de la Terre	55
3.1.1. Système céleste (ICRS)	57
3.1.2. Rotation de la Terre	59
3.1.3. Repère international de référence terrestre (ITRF)	62
3.1.4. Centre de combinaison	64
3.1.5. Aspects théoriques	66
3.2. Apport des mesures géodésiques	66
3.2.1. DORIS	69
3.2.2. Télémétrie laser-satellites	72
3.2.3. Télémétrie laser-lune	74
3.2.4. GNSS	79
3.2.5. VLBI	81
3.2.6. Marégraphie	83
4 - OCÉANS, HYDROLOGIE GLOBALE	
4.1. Altimétrie spatiale	
4.1.1. Variations du niveau des océans	89
4.1.2. Etalonnages	96

4.1.3. Hydrologie spatiale	100
4.2. Phénomènes côtiers	111
4.3. Glaces	115
5 - GÉODÉSIE PLANÉTAIRE	
5.1. Champ de gravité Martien	121
5.2. Missions Système Solaire	122
5.3. Thermosphères planétaires	123
6 - PHYSIQUE FONDAMENTALE, ÉTUDE DE L'UNIVERS	
6.1. Test du principe d'équivalence	127
6.2. Transfert de temps par lien laser	129
6.3. Effet Pioneer et flyby	135
7 - SERVICES SCIENTIFIQUES ET DIFFUSION DE L'INFORMATION	
7.1. Services scientifiques nationaux	139
7.2. Services scientifiques internationaux	141
7.3. Observatoire virtuel	143
C - AUTRES ACTIVITÉS GRGS	
Cérémonie d'inauguration des stations laser rénovées de l'OCA	143
Réunion ouverte du CS sur l'avenir de la télémétrie laser (15 avril 2009)	
Réunion exceptionnelle du CS (27 octobre 2009)	
D - ANNEXE	
Liste et coordonnées du personnel GRGS 2009	155

LISTE DES RÉDACTEURS/COORDINATEURS

Chapitres

Rédacteurs

Avant-propos

R. Biancale, N. Capitaine

A - DONNÉES ADMINISTRATIVES

R. Biancale, N. Capitaine

B - EXPÉRIENCES ET TRAVAUX

1. OBSERVATOIRES GÉODÉSIQUES

1.1. Observatoire de la Côte d'Azur

P. Exertier

1.2. Observatoire de Tahiti

J.P. Barriot

1.3. Systèmes d'observations marégraphiques

N. Pouvreau

2. MÉCANIQUE ORBITALE ET CHAMP DE GRAVITÉ DE LA TERRE

2.1. Mécanique orbitale

F. Deleflie, J.-C. Marty

2.2. Champ de gravité de la Terre

2.2.1. Missions spatiales

R. Biancale

2.2.2. Altimétrie haute résolution

M.-F. Lalancette

2.2.3. Bureau Gravimétrique International

S. Bonvalot

3. SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE

3.1. Systèmes de référence et rotation de la Terre

D. Gambis/R. Biancale

3.1.1. Système céleste (ICRS)

J. Souchay

3.1.2. Rotation de la Terre

D. Gambis

3.1.3. Repère international de référence terrestre (ITRF)

Z. Altamimi

3.1.4. Centre de combinaison

D. Gambis

3.1.5. Aspects théoriques

N. Capitaine/D. Coulot

3.2. Apport des mesures géodésiques

3.2.1. DORIS

P. Willis

3.2.2. Télémétrie laser-satellites

P. Exertier

3.2.3. Télémétrie laser-lune

G. Francou

3.2.4. GNSS

F. Perosanz

3.2.5. VLBI

A.M. Gontier

3.2.6. Marégraphie

G. Woppelmann

4. OCÉANS, HYDROLOGIE GLOBALE

4.1. Altimétrie spatiale

4.1.1. Variations du niveau des océans

Ph. Maisongrande

4.1.2. Etalonnages

P. Bonnefond

4.1.3. Hydrologie spatiale

J-F. Cretaux

4.2. Phénomènes côtiers

L. Pineau-Guillou

4.3. Glaces

F. Rémy

5. GÉODÉSIE PLANÉTAIRE

5.1. Champ de gravité Martien

J.C. Marty

5.2. Missions Système solaire

J.P. Barriot

5.3. Thermosphères planétaires

S. Bruinsma

6. PHYSIQUE FONDAMENTALE, ÉTUDE DE L'UNIVERS

6.1. Test du principe d'équivalence

G. Métris

6.2. Transfert de temps par lien laser

E. Samain, P. Exertier

6.3. Effet Pioneer et flyby

G. Metris

7. SERVICES SCIENTIFIQUES ET DIFFUSION DE L'INFORMATION

7.1. Services scientifiques nationaux

N. Pouvreau

7.2. Services scientifiques internationaux

D. Gambis, N. Capitaine

7.3. Observatoire virtuel

F. Deleflie

C - AUTRES ACTIVITÉS GRGS

Cérémonie d'inauguration des stations laser rénovées de l'OCA

F. Deleflie

Réunion ouverte du CS sur l'avenir de la télémétrie laser (15 avril 2009)

N. Capitaine

Réunion exceptionnelle du CS (27 octobre 2009)

D - ANNEXE

Liste et coordonnées du personnel GRGS 2009 (actualisée au 31/12/2009)

A - DONNÉES ADMINISTRATIVES

ORGANISMES MEMBRES ET STRUCTURE (EN 2009)

1. Organismes membres

Bureau des Longitudes :	BdL
Centre National d'Etudes Spatiales :	CNES
Observatoire de Paris :	OP
Institut Géographique National :	IGN
Institut National des Sciences de l'Univers :	INSU
Observatoire de la Côte d'Azur :	OCA
Service Hydrographique et Océanographique de la Marine :	SHOM
Observatoire Midi-Pyrénées :	OMP
Université de Polynésie Française :	UPF
Conservatoire National des Arts et Métiers :	CNAM

2. Comité Directeur

2.1. Membres des organismes

A. Lebeau	: Président, BdL
Y. D'Escatha	: Président Directeur Général, CNES
D. Egret	: Président, OP
P. Parisé	: Directeur Général, IGN
D. Le Queau	: Directeur, INSU
F. Vakili	: Directeur, OCA
G. Bessero	: Directeur, SHOM
B. Dupré	: Directeur, OMP
L. Peltzer	: Présidente de l'Université de Polynésie Française, UPF
L. Polidori	: CNAM-ESGT

2.2. Membres de droit

R. Biancale	: Directeur Exécutif, GRGS
N. Capitaine	: Présidente du Conseil, GRGS

3. Bureau Exécutif

Directeur Exécutif	M. R. BIANCALE
Présidente du Conseil du GRGS	Mme N. CAPITAINE (GRGS/BdL)
GRGS/CNES	M. Ph. MAISONGRANDE
GRGS/OP	M. D. GAMBIS
GRGS/IGN	M. O. JAMET
GRGS/OCA	M. P. EXERTIER
GRGS/SHOM	Mme M.F. LALANCETTE
GRGS/OMP	M. A. RIGO
GRGS/UPF	M. J.P. BARRIOT
GRGS/ESGT	Mme J. NICOLAS-DUROY

4. Conseil

Présidente	Mme N. CAPITAINE
------------	------------------

4.1. Membres

BdL :	Mme N. CAPITAINE*
CNES :	M. S. HOSFORD
	M. S. BRUINSMA
	M. Ph. MAISONGRANDE*
OP :	M. D. GAMBIS*
	Mme A.M. GONTIER
IGN :	M. Z. ALTAMIMI
	M. P. WILLIS
INSU :	M. B. GOFFE
OCA :	M. P. EXERTIER*
	M. F. DELEFLIE
SHOM :	Mme M.F. LALANCETTE*
	Mme L. PINEAU-GUILLOU
OMP :	Mme A. BRIAIS
	M. S. BONVALOT
UPF :	M. J.P. BARRIOT*
ESGT :	Mme J. NICOLAS-DUROY

4.2. Membres de droit

Directeur Exécutif	M. R. BIANCALE*
--------------------	-----------------

4.3. Membres extérieurs

M. P. CHARLOT	(Observatoire de Bordeaux)
M. J. BENVENISTE	(ESA/ESRIN - Italie)
M. M. DIAMENT	(IPGP)

* *Membres du Bureau Exécutif*

5. Comité WEB

CNES :	Mme M.C. GENNERO
OP :	M. C. BIZOUARD
IGN :	M. X. COLLILIEUX
OCA :	Mme Ch. JULIENNE
OMP :	Mme A. BRIAIS
SHOM :	M. D. ROUXEL
UPF :	M. J.P. BARRIOT
ESGT :	M. F. DURAND
Bdl :	M. P. BAUER

6. Groupe d'Evaluation Scientifique

D'après la Charte d'organisation du GRGS, les activités du GRGS sont examinées tous les quatre ans par un Groupe d'Evaluation Scientifique (GES), dont le mandat est de quatre ans, renouvelable une fois. Ce Groupe comprend (i) des personnalités scientifiques extérieures au GRGS (cinq au maximum) nommées par le Comité Directeur, sur proposition du Directeur Exécutif après consultation du Président du Conseil Scientifique du GRGS, et (ii) de représentants d'instances nationales d'évaluation, nommés par le Comité Directeur sur proposition de ces instances.

Le dernier rapport du GES a été remis en avril 2008 au Comité Directeur. Ce groupe était constitué de V. Dehant (Observatoire Royal de Belgique), François Mignard (OCA ; Président) et C. Sotin (Université de Bretagne Sud et JPL), comme personnalités scientifiques extérieures, ainsi que d'un représentant de chacune des sections du Comité national concernées par les activités du GRGS (sections 17, 18 et 19). La composition de ce Groupe sera actualisée à l'annonce de la prochaine évaluation, qui devra avoir lieu avant la fin de l'actuelle mandature (2009-2012).

BUDGET ET PERSONNEL (EN 2009)

1. Personnel

Le personnel des équipes GRGS a été redéfini à l'occasion du nouveau protocole d'accord sur le GRGS signé par les divers partenaires le 26-01-2004. La liste est mise à jour annuellement par le Bureau Exécutif en étroite collaboration avec les représentants des équipes au sein de ce bureau.

Le personnel mis à disposition du GRGS, à temps complet ou partiel, s'élevait, fin 2009 à 110 personnes. Le tableau ci-après détaille la répartition par organisme et qualification, à cette date (voir en annexe la liste et les coordonnées du personnel GRGS par équipe au 31/12/2009).

Organisme Qualification	CNES	OP	IGN	OCA	SHOM	OMP	UPF	ESGT	Total
Chercheurs	10	19	17	4	3	10	1	6	64
Ingénieurs, Tech.	5	5	1	7	7	0			29
Administratifs	1	1	1	1		1			5
Doctorants	0	5	6	0				1	10
Post-Doc						1		1	4
Total	16	30	25	12	10	12	1	8	112

Organisme de rattachement	CNES	OP	IGN	OCA	SHOM	OMP	UPF	ESGT	Total
CNAP		12		3		1			13
CNES	16								16
CNRS		6		4		9			16
IGN	0		22						22
IRD						2			2
LNE		1							
MENRT		11		7	1	1	1	5	22
Ministère Armement					9				9
RTRA						1			1
Total	16	30	22	12	10	14	1	5	110

2. Budget

Le CNES met annuellement en place, pour le GRGS, des crédits dans le cadre d'une convention passée avec l'INSU.

Les crédits se décomposent comme suit (HT) pour 2009 :

- Matériel :	86,00 k€
- Etudes et réalisations	50,90 k€
- Vacations :	14,80 k€
- Missions :	101,02 k€
Total :	252,72 k€

B - EXPÉRIENCES ET TRAVAUX

1. OBSERVATOIRES GÉODÉSIQUES

1.1. Observatoire de la Côte d 'Azur

1.2. Observatoire de Tahiti

1.3. Systèmes d'observations marégraphiques

1.1. OBSERVATOIRE DE LA CÔTE D'AZUR

1. Le site géodésique et métrologique du plateau de Calern

Le site accueille aujourd'hui les équipements propres à la télémétrie laser (instrument fixe MeO, basé sur un télescope de 154cm et laboratoire de la station mobile) ainsi qu'au transfert de temps (T2L2, GPS et Two-Way ou TWSTFT). En outre, le système de temps de référence est fourni par l'horloge Cesium de l'Observatoire accompagné d'un Maser-hydrogène en cours de changement.

S'ajoute aux équipements laser, les installations liées aux systèmes de positionnement GPS et DORIS (balise re-installée fin 2008), ce qui fait de Calern un site multi-techniques, aspect fortement recommandé par le GGOS.

2. Développements logiciels globaux de gestion de données (Laser Mobile & MEO)

2.1. Nouveaux formats ILRS (CRD) :

Les formats d'échanges de données ont été complètement réaménagés par l'organisme International de coordination (l'ILRS). Un tel changement est très rare (10/15 ans) et a nécessité un gros travail d'Ingénierie informatique. A la fin de 2009 des tests de validation sont en cours dans les centres d'analyse, le mode opérationnel devrait être prêt pour début 2010. Le projet T2L2 a déjà utilisé avec succès ce nouveau format de diffusion dès le tir de Jason2 en juillet 2008.

2.2. Outils mise en forme observations :

- visualisation des données acquises et de leur répartition sur le ciel
- visualisation des satellites à venir pour aide au choix

3. FTLRS

3.1. Introduction

- Prospection lasers nouvelles générations (haute cadence, pompage par diode) pour montage du dossier de renouvellement laser sur l'instrument actuel et dans l'optique de développement d'une nouvelle génération.
- Tirs sur Jason2/T2L2 en mode Transfert de Temps à Calern durant les printemps/été 2009 avec l'horloge Césium de notre laboratoire T-Fréq. Ces tirs sont réalisés en commun avec la station Méo de façon à effectuer du transfert de temps en local
- Préparation puis campagne à l'Observatoire de Paris du 6 Octobre 2009 au 1^{er} novembre 2009.

Campagne Laser Mobile à Paris pour le projet T2L2 (Octobre 2009)

La station laser a été installée durant un mois sur le toit du bâtiment B de l'Observatoire de Paris sur une plateforme spécifique avec la station de contrôle située dans un local en visibilité directe de la station, sur ce même toit.

Cette situation permet tout à la fois de bénéficier d'un champ de vue relativement dégagé (figure 1), de la proximité des signaux de référence des horloges de l'Observatoire de Paris et d'une bonne isolation de l'activité humaine (Par rapport aux aspects sécurités).

La station est protégée des intempéries par une tente de protection. Pour les besoins opérationnels, cette installation nécessite une série de réglages et la mise en configuration opérationnelle avec l'implantation repères géodésiques locaux et leur rattachement à la station réalisés en général par l'IGN

Fig 1 : Visibilité Jason 2 calculée sur le site de l'OP



Les enseignements de cette campagne sont multiples :

- La validation de l'installation sur une toiture au sein d'une grande ville avec toutes les procédures validées en ce qui concerne la sécurité aérienne et l'utilisation d'un laser dans le ciel Parisien.
- La logistique nécessaire au fonctionnement de la station mobile à l'Observatoire de Paris avec mise en place d'une structure d'accueil, rattachements topographique, liaison réseaux, etc...
- Connexions aux horloges du Syrte de façon à piloter tout le système d'acquisition et de chronométrie de la FTLRS à partir des horloges de très haut niveau de ce laboratoire.
- Acquisition, malgré une météo médiocre à cette saison, de quelques passages sur Jason2 simultanément avec la station Meo de Grasse ; validation des données sols et bords par le centre de Mission T2L2 et premières estimation des stabilités de transfert de temps.



Fig 2 : Installation de la FTLRS sur la bâtiment B de Observatoire de Paris

4. Station MeO

4.1. Instrumentation

Le développement de la station MeO suit son cours avec notamment l'intégration finale de la coupole, le développement des logiciels, l'amélioration des pointés de l'instrument, l'architecture optique et la fiabilisation du laser.

Développement du programme principal MeO en visual C++, avec gestion des télécommandes et télémétries (télescope, coudé, météo, télémétrie), gestion des prévisions satellitaires et des pointés étoiles, planètes, Lune, puis travaux sur le système de correction de pointé boule et sur la gestion des tables de correction du télescope.

Evolution du programme de télémétrie opérationnel, avec prise en compte des nouveaux formats de prévision, le pilotage du télescope, et le « dialogue » inter-machine

Calcul des pointés stellaires (en coopération avec le OMP/CESR), avec la gestion du catalogue Hipparcos, l'application des corrections astrométriques, le calcul du modèle en harmoniques de correction du télescope, le calcul des photo-centres et l'application aux suivis des satellites. Le très bon pointé du télescope, désormais réalisé avec une exactitude de 1.5 arcsec rms, facilite énormément les captures et les poursuites des satellites.

Mise au point du programme de pilotage du télescope, avec la correction des erreurs et la gestion des sécurités

Travaux sur l'automate (avec l'aide de la Div Technique de l'INSU), en particulier sur le développement du programme de l'automate, l'étalonnage des capteurs et l'intégration de l'automate MeO.

Travaux sur le télescope, avec la distribution électrique secteur, l'amélioration des paramètres d'asservissement de la motorisation, la finalisation de l'hydraulique, la prise en compte des inclinomètres, les mesure de la géométrie (en collaboration avec l'IGN), puis le design des capots de protection.

Design et fabrication du module d'ouverture cimier de la coupole, finalisation de la jupe et de la porte du cimier et finalisation de la motorisation coupole.

Finition du laboratoire focal, notamment sur l'optique, avec les retraitements des optiques : primaire - secondaire - tertiaire, le design du futur coudé en partage d'ouverture émission - réception, la préparation lunette guide, l'intégration caméra haute sensibilité EMCCD et le réducteur de focal, puis le design du réducteur de focal grand champ.

Travaux sur le laser, avec la préparation et la mise au point de l'électronique de pilotage du laser, le programme de pilotage du laser, et la préparation et mise au point du laser à deux cavités.

Expériences sur le coudé en partage d'ouverture qui doit lever à terme le dernier obstacle pour l'observation de satellites proches jusqu'à maintenant dégradé par les temps de commutation du laser dans le télescope.

4.2. Observations

La station MeO observe régulièrement depuis mi 2008. Elle est pleinement opérationnelle depuis juin 2009. Elle observe régulièrement les cibles suivantes : Jason 1 & 2, Lageos 1 & 2, GPS 35 & 36, Glonass, Etalon, Blitz, et les 4 réflecteurs de la Lune. La figure 3 est une illustration des passages obtenus sur MeO durant la période 07/08 à 02/10

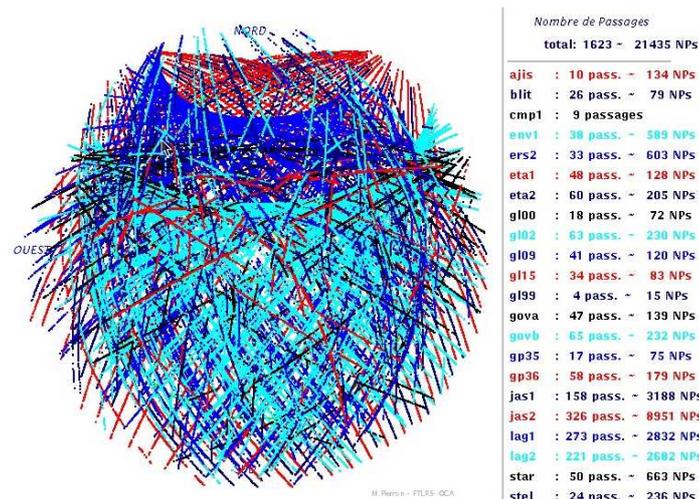


Fig 3 : traces des passages satellites obtenues par la station MeO projetées sur la route céleste

5. Participants au projet

Abchiche Abdelkader, DT INSU

Mourad Aimar, OCA

Dominique Albanese, OCA

Gilles Buchholtz, DT INSU

Kheilifa Djeroud, OP

Pierre Exertier, OCA

Dominique Feraudy, OCA

Fabien Frerot, DT INSU

Maurice Furia, OCA (décédé)

Hervé Mariey, OCA

Grégoire Martinot Lagarde, OCA

Jocelyn Paris, OCA

Francis Pierron, OCA

Monique Pierron, OCA

Etienne Samain, OCA

Jean Marie Torre, OCA

Hervé Viot, OCA

6. Références bibliographiques

F. Deleflie¹, D. Coulot², P. Bonnefond¹, Olivier Laurain¹, Pierre Exertier¹ et Bertrand de Saint-Jean¹, et l'équipe des observateurs¹, Analyse des données de la station laser mobile de la campagne Corse en 2008, GdR G2 2009

D. Coulot (1), A. Pollet (1), X. Collilieux (1), F. Deleflie (2), M.L. Gobinddass (1,3), L. Soudarin (4), P. Willis (5,3), Genetically Modified Networks: A Genetic Algorithm contribution to Space Geodesy. Application to the transformation of SLR and DORIS EOP time series into ITRF2005, IAG 2009

Deleflie, F., 2009, Journée CCT PMI : Vers un nouveau catalogue de débris spatiaux : la nécessité de l'interopérabilité

- F. Deleflie¹, D. Coulot², B. deSaintJean¹, J.-M. Lemoine³, P. Exertier¹ and O. Laurain¹, Journée GINS, ILRS 2009 : Two approaches to build time series of EOP from SLR data
- F. Deleflie (1), D. Coulot (2), P. Exertier (1), O. Laurain (1), and D. Feraudy (1) , Past, current, and future research and operational activities of the GRGS ILRS Analysis Center, Poster EGU 2009
- F. Deleflie (1), S. Lambert (2), X. Collilieux (3), J. Berthier (4), C. Barache (2), D. Coulot (3), A.-M. Gontier (2), and P. Exertier (1) ,OV : Why choosing the Virtual Observatory in Geodesy and Earth's Sciences? , Poster EGU 2009
- D. Gambis (1), J.Y. Richard (1), G. Bourda (2), S. Loyer (3), L. Soudarin (3), F. Deleflie (4)
- Global combination of astro-geodetic techniques at the normal equations level. Contribution to ITRF2008 realization, Soumis Adv. Space Res. 2009
- Florent Deleflie, Sébastien Lambert, Jérôme Berthier, Xavier Collilieux, Christophe Barache, Anne-Marie Gontier, et al., Assemblée Générale ASOV : Actions 2008-2009, Groupe Géodésie et Astronomie Fondamentale.
- Deleflie F. and D. Coulot, Le Repère de Référence par Laser. SF2A, Besançon, 30Juin-3 Juillet 2009
- Exertier, P. Projet T2L2, Point sur le Traitement des Données. SF2A, Besançon, 30Juin-3 Juillet 2009
- Samain, E. et al., 2009, EFTF Proceedings, Besançon, F
- Richard, J-Y, D.Gambis, G. Bourda, S. Loyer, L. Soudarin, and F. Deleflie, Global combination of astro-geodetic techniques at the normal equations level. Possible contribution to future ITRS realizations, AGU 2009

1.2. OBSERVATOIRE DE TAHITI

1. Station-Laser

La station laser de l'OGT est redevenue opérationnelle en décembre 2009 après un arrêt de 6 mois, grâce à l'intervention d'un ingénieur Honeywell sur la monture du télescope. Les données obtenues sont d'excellente qualité, et les rotations des techniciens ont été revues afin d'optimiser la poursuite des satellites bas. Les unités de climatisation ont été entièrement remplacées (financement CNES) dans le but de réduire la consommation d'électricité. Un autre technicien Honeywell va venir réparer le radar en mars 2010.

2. Stations marégraphiques

Les stations marégraphique/GPS de Tubuai (Australes) et Rangiroa (Tuamotu) sont maintenant entièrement opérationnelles. Elles ont été financées sur le contrat Etat-Polynésie française 2006-2009. Leur immatriculation internationale est en cours. Le seul bémol est que les données GPS ne sont pas disponibles en temps réel pour l'IGS, car on ne peut pour l'instant connecter de manière satisfaisante ces stations à Internet. A noter qu'au jour de l'écriture de ces lignes (février 2010), la station de Tubuai vient de survivre sans problème au cyclone Oli. Grâce à sa construction robuste, elle a pu encaisser des vagues de 8 mètres. Un nouveau financement Etat-Polynésie française a été obtenu en 2009. Un des buts est de compléter la station marégraphique des îles Gambier (Rikitea) par une station radar/GPS sur l'aérodrome de Totegegie.



La station marégraphe/GPS de Tubuai (Australes) construite en collaboration OGT/SHOM

3. Stations GPS et DORIS

L'OGT a reçu 2 stations GPS gracieusement fournies par la Société Trimble, avec cependant la condition que les données ne soient pas redistribuées. Néanmoins, cela a permis d'équiper l'Observatoire avec une troisième station permanente. Le deuxième récepteur sera déployé sur le site de l'IRD à Arue, dans la banlieue de Papeete. La station DORIS de l'OGT est devenue en novembre 2009 balise maîtresse du réseau DORIS, avec un équipement entièrement renouvelé.

4. Traitement géodésique des données

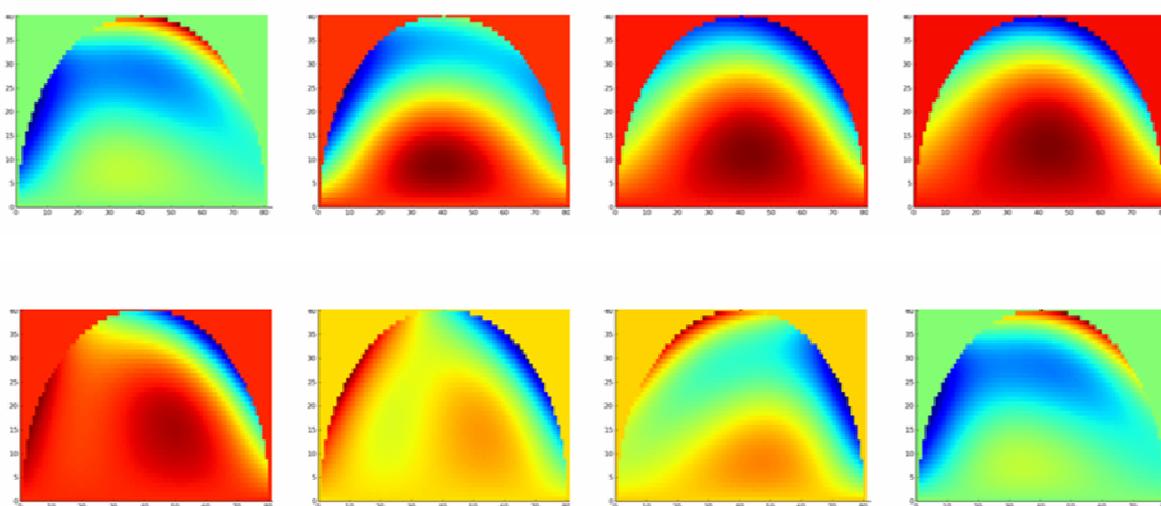
L'ensemble des données GPS des dix dernières années de l'OGT ont été traitées à l'aide des logiciels GIPSY-OASIS et GAMIT/GLOBK et comparées aux solutions DORIS de l'IGN/JPL. Des comparaisons avec le logiciel GINS sont en cours. La vitesse de subsidence de Tahiti est ainsi maintenant estimée être comprise entre 0.29 et 0.37 mm/an, en plein accord avec les vitesses déduites des forages dans le récif corallien. Les anciennes estimations à partir des données GPS faisaient apparaître des taux 4 fois plus importants, à cause d'une mauvaise transformation d'Helmert des solutions journalières dans le système ITRF.

5. Sciences de l'atmosphère

Nous avons démarré une modélisation de la variation de la vapeur d'eau atmosphérique à partir des délais de propagation GPS, basée sur l'inversion régularisée de la transformée de Radon. L'originalité de ce développement est qu'il devrait permettre une tomographie de l'atmosphère par station (et non à partir d'un réseau dense). L'algorithme en cours de développement est applicable à plusieurs autres champs de la géophysique, avec en ce qui nous concerne des retombées en calibration de la poursuite radio des sondes spatiales en espace profond (Bandes S, X et Ka) et en tomographie radar VHF (expérience CONSERT en planétologie sur la mission Rosetta). L'équation de base est la suivante :

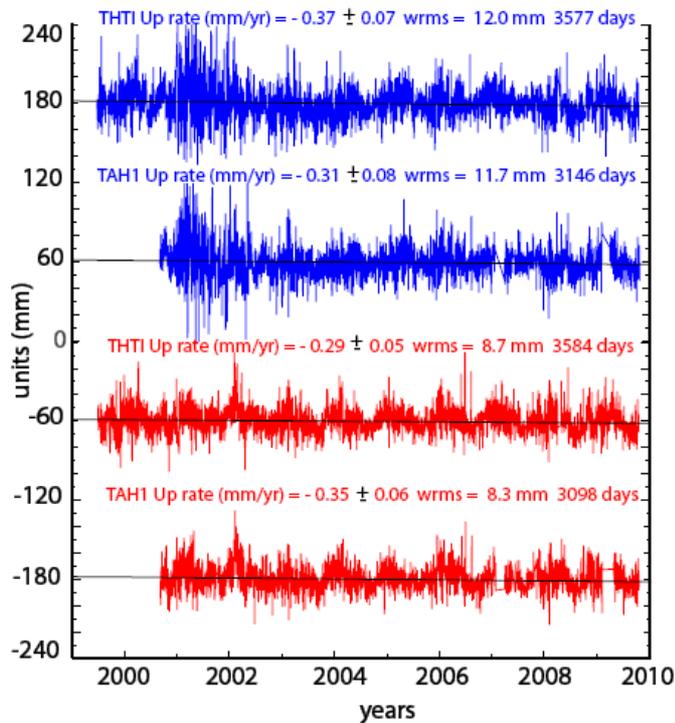
$$SWD \propto \int_{Trop.} N_w(s) ds = \int_{Trop.} \sum E_{nlm} R_k^{(l)}(\vec{r}(s)) Y_l^{(m)}(\varphi, \varepsilon) e^{-i2\pi t} ds$$

où SWD représente le délai humide oblique, les fonctions R et Y étant respectivement les polynômes de Zernike et les harmoniques sphériques. L'algorithme détermine les coefficients E par inversion régularisée selon la méthode de Tikhonov.

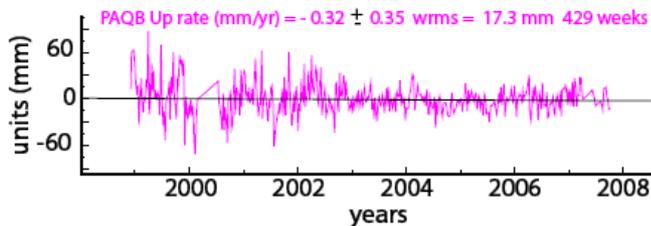


Essai de reconstruction du contenu en vapeur d'eau au-dessus de la station THTI de l'OGT sur une journée (toutes les 4 h), par inversion régularisée contrainte (la 1/2 sphère représente la troposphère au-dessus de l'horizon de la station)

Height time series of THTI and TAH1 GPS stations derived from GIPSY-OASIS II (PPP) (blue) and GAMIT-GLOBK (red) with respect to ITRF2005. Time series are offset for clarity.



Height time series of PAQB DORIS beacon IGN/JPL (ignwd09 series) weekly solutions relative to ITRF2005.



A decade of GPS and DORIS observations is analyzed to monitor the vertical displacement of the Tahiti Island. GPS data are reduced in a network mode with GAMIT-GLOBK (in red), and precise point positioning (PPP) technique with GIPSY-OASIS II (blue), while DORIS weekly series of station positions are computed by IGN/JPL analysis center using GIPSY-OASIS II (Magenta). The GPS and DORIS vertical velocity fields are very consistent and reveal a very slow subsidence of the Tahiti Island averaged at -0.3 mm/yr which is barely significant but in good agreement with the lower range of coral reef stratigraphy rates estimated between $(-0.40$ and $-0.15)$ mm/yr.

6. International Center for Earth Tides

Nous avons élaboré, dans le cadre de l'ICET, une base de données gravimétriques en marégraphie terrestre et marine, en ligne sur le réseau RENATER à <http://maregraph-renater.upf.pf>. Elle regroupe pour l'instant toutes les données gravimétriques validées du réseau GGP jusqu'en 2007, soit 2000 fichiers mensuels au pas d'une minute. Deux Bulletins des Marées Terrestres (BIM), n° 144 et 145, regroupant plus de vingt papiers présentés au meeting ETS2008 à Iena ont été finalisés et mis en ligne (le n° 146, en cours, complétera ces Actes). Un logiciel d'identification des sauts et point faux des données GGP est en cours d'étude, ainsi qu'un logiciel permettant la mise en forme de ces données au format XML.

7. Références bibliographiques

- J.-P. Barriot, The Geodesy Observatory of Tahiti as a GGOS Observatory. Geodesy for Planet Earth Meeting (oral), Int. Association of Geodesy, Buenos Aires, August 31st-September 04th, 2009.
- J.-P. Barriot, The International Center for Earth Tides in Tahiti, Geodesy for Planet Earth Meeting (oral), International Association of Geodesy, Buenos Aires, August 31st-September 04th, 2009.
- J.-P. Barriot, P. Ortéga, A. Fadil, L. Sichoix and V. Laurent, GPS monitoring for natural risk assessments and research in French Polynesia (Oral), 2^{èmes} assises de la recherche française dans le Pacifique et 11^{ème} Inter-Congrès des Sciences du Pacifique, March 2nd - 6th 2009, ISBN 978-2-11-098964-2
- J.-P. Barriot, P. Ortéga, A. Fadil, L. Sichoix, D. Reymond, Y. Dupont, P. Mainguy and D. Graffaille, The Polynesian Geodetic Network (POGENET): 2009 milestone (Poster), 2^{èmes} assises de la recherche française dans le Pacifique et 11^{ème} Inter-Congrès des Sciences du Pacifique, March 2nd - 6th 2009, ISBN 978-2-11-098964-2
- J.-P. Barriot, L. Sichoix and A. Fadil, The ill-posed inversion of the Radon transform: application to fan tomography of the water vapor contents of the atmosphere from GPS slant delays, Invited Seminar, National Central University of Taiwan, December 8, 2009
- S. W. Asmar, K. Aksnes, R. Ambrosini, A. Anabtawi, J. D. Anderson, J. W. Armstrong, D. Atkinson, J.P. Barriot, B. Bertotti, B. G. Bills, M. Bird, V. Dehant, P. Edenhofer, F. Michael Flasar, W. Folkner, R. G. French, H. Hanada, B. Häusler, D. P. Hinson, L. Iess, Ö. Karatekin, A. J. Kliore, A. S. Konopliv, F. Lemoine, I. Linscott, E. Marouf, J.C. Marty, K. Matsumoto, H. Noda, K. Oudrhiri, M. Paik, R. S. Park, M. Pätzold, R. Preston, N. Rappaport, P. Rosenblatt, R. A. Simpson, D. E. Smith, S. Smrekar, P. G. Steffes, S. Tellmann, P. Tortora, G. L. Tyler, T. van Hoolst, M. Watkins, J. G. Williams, P. Withers, X. Wu, D. Yeomans, DN Yuan, M. T. Zuber, Planetary Radio Science: Investigations of Interiors, Surfaces, Atmospheres, Rings, and Environments, Planetary Sciences Decadal Survey, The National Academies White Papers Report, 2009.
- V. Dehant, W. Folkner, E. Renotte, D. Orban, S. Asmar, G. Balmino, J.P. Barriot, J. Benoist, R. Biancale, J. Biele, F. Budnik, S. Burger, O. de Viron, B. Häusler, Ö. Karatekin, S. Le Maistre, P. Lognonné, M. Menvielle, M. Mitrovic, M. Pätzold, A. Rivoldini, P. Rosenblatt, G. Schubert, T. Spohn, P. Tortora, T. van Hoolst, O. Witasse and M. Yseboodt, Lander radioscience for obtaining the rotation and orientation of Mars, [Planetary and Space Science, Volume 57, Issues 8-9](#), Pages 1050-1067, July 2009.
- A. Fadil, J.-P. Barriot, P. Ortéga, and L. Sichoix: Seasonal Atmospheric Water Vapor Monitoring over Tahiti Using GPS measurements, Proceedings of the 11-th Pacific Science Inter-Congress, March 2nd - 6th 2009, Tahiti, French Polynesia, ISBN 978-2-11-098964-2
- A. Fadil, J.-P. Barriot, L. Sichoix, and P. Ortéga : GPS subsidence rate of Tahiti Island: comparison with coral reef stratigraphy, G33B-0647, AGU 2009 Fall Meeting.
- A. Fadil, J.-P. Barriot, L. Sichoix, and P. Ortéga: GPS Subsidence Rate of Tahiti Island: Comparison with Coral Reef Stratigraphy, Oral Communication, Colloque 2009 du Groupement de Recherche G2, Strasbourg, 18-20 novembre 2009.
- P. Ortéga, Khanh Nam Ho, A. Fadil, J.-P. Barriot and L. Sichoix, Lightning-Integrated Water Vapor relationships in the South Pacific (Poster), 2^{èmes} assises de la recherche française dans le Pacifique et 11^{ème} Inter-Congrès des Sciences du Pacifique, 02-06 mars 2009, ISBN N°978-2-11-098964-2
- L. Sichoix and J.P. Barriot: Regional Tide gauge network report of French Polynesia (South central Pacific Ocean), 11th Global Sea Level Observing System - Group of Experts Meeting, May 2009, UNESCO Paris.
- L. Sichoix, J.-P. Barriot, A. Fadil and P. Ortéga, A new local GPS water vapor tomography imaging technique using spectral functions w.r.t space and time: initial tests and results for the Tahiti Island case (French Polynesia), Poster G43A-0725, AGU 2009 Fall Meeting.
- L. Sichoix, J.-P. Barriot, A. Fadil and P. Ortéga, Subsidence and hydrological erosion of Tahiti Island using space geodetic and hydrological data (Poster), 2^{èmes} assises de la recherche

française dans le Pacifique et 11^{ème} Inter-Congrès des Sciences du Pacifique, 02-06 mars 2009, ISBN N°978-2-11-098964-2

F. Ye, L. Sichoix, and JP Barriot, 2009, Comparaison d'une modélisation empirique et d'une modélisation physique des processus érosifs en vue de l'amélioration des modèles de subsidence thermique de l'île de Tahiti (Polynésie française). Actes des Doctoriales conjointes UPF-UNC tenues à Papeete, Tahiti, 02-06 mars 2009, ISBN 978-2-9534554-0-3

F. Ye, L. Sichoix, and JP Barriot, 2009, Modeling erosion of tropical volcanic ocean island : The Tahiti case (French Polynesia) Poster NH43B-1312, AGU Fall Meeting 2009.

1.3. SYSTÈMES D'OBSERVATIONS MARÉGRAPHIQUES

1. Introduction

L'année 2009 a été marquée par la définition du rôle de coordinateur national de l'observation du niveau de la mer sous le pilotage du Secrétariat Général de la Mer (SGMer, 2009). Ce rôle s'inscrit dans le cadre de la mise en place de référents nationaux présentés dans le Livre Bleu adopté par le Premier Ministre en décembre 2009. Le processus doit se concrétiser en 2010 avec la publication de l'instruction permanente désignant le SHOM comme référent et définissant ses attributions. Outre cette désignation et la création en décembre 2009 d'un poste de coordinateur national de l'observation du niveau de la mer au SHOM, deux projets ont été développés en 2009, avec un impact potentiel important sur l'activité marégraphique nationale.

Le premier est une réflexion conduite par le LEGOS, le SHOM et l'Université de La Rochelle sur un projet de Système d'Observation et d'Expérimentation, sur le long terme, pour la recherche en environnement (SOERE) et dénommé Système d'Observation des variations du Niveau de la mEr à Long terme (SONEL). Ce projet a été soumis au Comité Inter Organismes sur la recherche en Environnement (CIO-E) en début d'année 2010. L'objectif principal est de produire les séries de niveaux moyens et solutions GPS nécessaires aux études sur l'évolution du niveau de la mer. Cette synergie doit bénéficier à la recherche marégraphique ainsi qu'aux thématiques utilisant ce type de mesures.

Le second est le projet de création d'un Centre Régional d'Alerte aux Tsunamis en Atlantique Nord-Est et Méditerranée (CRATANEM) qui associe le CNRS et le SHOM au CEA, il implique l'ajout d'une capacité temps réel sur l'ensemble des marégraphes de métropole avec une cadence d'acquisition à plus haute fréquence (1 minute) et l'installation de cinq nouveaux marégraphes en Méditerranée (Créach, 2009). Ce projet a démarré en septembre 2009. Il inscrit la marégraphie dans un contexte opérationnel et crée un réseau intrinsèquement multirisque disponible en particulier pour la prévention des ondes de tempête.

Plus globalement, le risque tsunami existe dans l'ensemble des bassins océaniques et la constitution de systèmes d'alerte aux tsunamis sous l'égide de la Commission Océanographique Intergouvernementale est apparue comme un moteur de développement de l'ensemble des réseaux marégraphiques, multipliant à la fois les acteurs et les installations d'observatoires permanents. Ainsi le LEGOS, l'IPGP et l'Université de Polynésie Française ont contribué activement en 2009 au développement des réseaux de marégraphes outre-mer respectivement dans l'Océan Indien, aux Antilles et en Polynésie Française. D'autres réseaux doivent encore être constitués, notamment en Nouvelle Calédonie, Wallis et Futuna.

Au niveau international, l'année 2009 a été marquée par la 11^{ème} réunion du groupe d'expert GLOSS à l'UNESCO à Paris en mai. Cette réunion a été précédée par un *workshop* la réunion d'un groupe de travail dédié aux mesures des mouvements terrestres verticaux aux marégraphes.

Parmi les enjeux évoqués lors de la réunion du groupe d'expert et relatifs aux systèmes d'observations marégraphiques, il convient de citer les difficultés liées au financement de la maintenance des nombreuses stations installées depuis le 26 décembre 2004, ainsi que l'évolution du système scientifique GLOSS lié initialement aux évolutions du niveau de la mer à long terme pour lui permettre de répondre à d'autres besoins de la COI et en particulier de

contribuer à des programmes opérationnels utilisant les marégraphes (notamment tsunamis en incluant le temps réel). L'année 2010 sera le 25^{ème} anniversaire de ce programme.

2. Développement des réseaux de marégraphes français

2.1. Extension et modernisation du réseau RONIM

Au 1^{er} janvier 2010, le réseau RONIM (SHOM) est constitué de 32 marégraphes (26 en métropole et 6 outre-mer). Sept marégraphes sont co-localisés avec un GPS permanent (Roscoff, Brest, La Rochelle, Saint-Jean-de-Luz, Sète, Marseille, Ajaccio) et treize marégraphes transmettent leurs données en temps réel (Calais, Dieppe, Le Havre, Cherbourg, Saint-Malo, Roscoff, Le Conquet, Brest, Marseille, Nice, Ajaccio, Pointe des Galets, Dzaoudzi). Un seul marégraphe acoustique est encore opéré à Monaco et devrait être remplacé en 2010 en collaboration avec la Direction de l'Environnement de la Principauté pour que l'ensemble du réseau soit constitué de télémètres radar et de centrales d'acquisition de nouvelle génération. Par ailleurs un nouveau télémètre radar du constructeur Khrone (modèle Optiwave 7300C) a été testé à l'air libre sur le site de Brest et déployé dans cette configuration à Calais en 2009. Les autres développements instrumentaux ont concerné la poursuite de l'intégration aux centrales d'acquisition des moyens de transmission ADSL et GPRS ainsi que satellite via Météosat.

L'année 2009 a été marquée en avril par le remplacement du marégraphe acoustique de l'observatoire de Marseille (station GLOSS n°205) qui était devenu défaillant par un nouveau marégraphe numérique équipé d'un télémètre radar. Un partenariat a été conclu à cette occasion entre l'IGN et le SHOM pour l'installation et le suivi du nouveau marégraphe. L'IGN a en particulier acquis les nouveaux matériels

Un autre fait marquant est le déploiement du réseau dans un nouveau port, avec l'équipement de l'observatoire de marée de Dieppe en février en partenariat avec le Syndicat Mixte de ce port. Le marégraphe côtier numérique RONIM a pris la place de l'ancien marégraphe à flotteur du port qui restait néanmoins utilisé pour les besoins de l'hydrographie portuaire mais n'était plus exploité par le SHOM depuis 1996.

Enfin des équipements de dernière génération (centrale et capteur) ont été déployés et ont conduit à la modernisation des sites de La Pallice en janvier, de Boucau-Bayonne en mars, de Roscoff en avril, d'Ajaccio en septembre, de Calais en octobre et de Saint-Malo en décembre.

Des tests de Van de Casteele ont été réalisés pour le contrôle des instruments à Roscoff en août (Bardière, 2009) et à Brest en octobre. A Brest ce test a conduit à adopter de nouveaux coefficients d'étalonnage pour le capteur de référence de l'observatoire (Khrone BM100), garantissant ainsi le maintien de la précision centimétrique requise par le programme GLOSS.

Enfin le réseau RONIM en métropole a poursuivi sa contribution aux initiatives et programmes internationaux notamment au niveau européen (Woodworth, 2009a). Il participe de manière notable à la mise à disposition de données temps réel sur le portail Internet mis en place par la COI (<http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/>). Les marégraphes RONIM participent de plus au développement de l'océanographie côtière opérationnelle et contribuent en particulier par leur production de données temps réel aux composantes NOOS (North west european shelf Operational Oceanographic System) et IBI-ROOS (Ireland-Biscay-Iberia Regional Operational Oceanographic System) du programme EuroGOOS (European Global Ocean Observing System). Enfin il convient de mentionner la production de données au profit du système d'alerte aux tsunamis dans l'Océan Indien (SATOI) depuis 2007 et du Système d'Alerte aux Tsunamis en Atlantique Nord-Est et Méditerranée (SATANEM) depuis 2009.

2.2. Modernisation du réseau ROSAME

Le réseau ROSAME (LEGOS) est constitué de 4 stations marégraphiques côtières établies dans les Terres Australes et Antarctiques Françaises. Hormis la station de Dumont d'Urville située sur le continent Antarctique, les observatoires se trouvent sur des îles localisées dans la partie

indienne de l'Océan Austral. Les stations de Kerguelen et Dumont d'Urville sont co-localisées avec des GPS tandis que Les îles de St Paul et de Crozet font l'objet de campagnes GPS régulières depuis 2003. A l'occasion de la mission NIVMER09, un capteur radar a été mis en service à St Paul (GLOSS n°24) le 23 novembre 2008 (Tiphaneau et Fichen, 2009).

Dans le but de compléter le réseau de marégraphes dédié à la validation des mesures altimétriques, à l'étude du niveau de la mer (GLOSS) ou du SATOI, une étude préliminaire d'installation d'observatoires a été exécutée au niveau des îles éparses de l'Océan Indien dans le canal du Mozambique. A cette occasion, des mesures marégraphiques ont été réalisées sur les îles d'Europa et Juan de Nova. Seule l'île d'Europa semble disposer des critères nécessaires pour l'implantation d'un marégraphe permanent.

2.3. Réseau de marégraphes dans les Caraïbes

Le besoin de contribution de marégraphes français au système d'alerte aux tsunamis a conduit l'IPGP à initier en 2009 l'installation de nouveaux marégraphes à Deshaies et La Désirade en Guadeloupe. Le SHOM a appuyé l'IPGP en présentant les matériels utilisés pour RONIM et où le capteur radar Khrono Optiflex a été retenu.

Les installations de marégraphes par l'IPGP se poursuivront en 2010 et densifieront ainsi le réseau déjà constitué des 3 marégraphes du réseau RONIM du SHOM et du marégraphe du Prêcheur, opéré par le Conseil Général de Martinique.

2.4. Réseau de marégraphes en Polynésie française

Le réseau de marégraphes en Polynésie française est désormais constitué de 6 marégraphes suite à l'installation en 2009 d'un marégraphe à Rangiroa aux Tuamotu (Dupont, 2009). Cette nouvelle installation poursuit la collaboration entre le CEA/LDG, la Protection Civile, le SHOM et l'UPF, qui avait conduit en 2008 à installer un marégraphe à Tubuaï aux Iles Australes (Barriot, 2009).

Ces deux dernières installations participent à la fois au réseau d'alerte aux tsunamis par la mise en place de moyens de transmission adaptés et à la surveillance à long terme du niveau de moyen de la mer par l'installation de GPS permanents co-localisés avec le marégraphe.

Un réseau régional se développe ainsi en Polynésie Française en synergie entre les organismes (Tanguy, 2009), en complément des marégraphes déjà opérés par le CEA/LDG (Hiva Oa, Marquises) et l'UHSLC (Papeete, Tahiti - Nuku Hiva, Marquises et Rikitea, Gambier).

2.5. Réseau de marégraphes en Nouvelle Calédonie

Le développement des réseaux de marégraphes dans le Pacifique au profit des problématiques de sécurité civile est suivi par la Délégation Générale du Secrétariat d'Etat à l'Outre-mer. Les récents tsunamis générés suite aux séismes aux îles Salomon les 1^{er} avril 2007 et 6 janvier 2010 et aux Samoa le 30 septembre 2009 ont en particulier guidé à la définition et au lancement d'un projet de constitution d'un réseau de marégraphes d'alerte en Nouvelle-Calédonie, à Wallis et Futuna. Ce projet est aujourd'hui conduit par la Direction de la Sécurité Civile en partenariat avec le SHOM.

Huit nouveaux marégraphes pourraient être installés à terme en complément du seul marégraphe RONIM existant à Nouméa. Les premières installations devant être conduites à partir de 2010 sont Wallis (Mata Utu), Futuna (Leava), Lifou et Mare.

3. Participants au projet

Nicolas POUVREAU, Coordinateur rédaction du chapitre (SHOM)

Lucia PINEAU-GUILLOU, Responsable expérience GRGS 'NMER' (SHOM)

Jean-Pierre BARRIOT, Professeur (Université de Polynésie française)

Guy WOPPELMANN, Maître de conférences (Université de La Rochelle)

Laurent TESTUT, Physicien adjoint (LEGOS)
Ronan CREACH, Ingénieur (SHOM)
Philippe TECHINE, Ingénieur (LEGOS)
Thomas GOURIOU, Doctorant (Université La Rochelle)
Pascal TIPHANEAU, Technicien (Université La Rochelle)

4. Références bibliographiques

- Bardiere, E., 2009, Mouvements verticaux des marégraphes par GPS : Installations, rattachements, traitements et analyses en soutien des actions de l'équipe ULR, rapport de projet Pluridisciplinaire, ENSG, IT2, 96pp.
- Barriot, J.-P., L. Sichoix, 2009, Regional Tide gauge network report of French Polynesia (South central Pacific Ocean), National Report of Polynésie Française to the XIth GLOSS Group of Experts Meeting, held at UNESCO, Paris, 13-15 May 2009, 4pp.
- Calzas, M., 2009, Rapport de mission sur l'implantation de marégraphes sur les Iles Eparses (avril - mai 2009), 14pp.
- Créach R., Deschamps A., Schindelé F, 2009, ICG/NEAMTWS VI - Status of WG3 activities in France (Sea level network, including offshore instrumentation for tsunami detection Working Group), Istanbul, November 2009, 4pp.
- Coulomb, A., 2009, Le marégraphe de Marseille : patrimoine et modernité, revue xyz, n°118, pp. 17-24.
- Dupont, Y., 2009, Intégration de la station de surveillance du niveau de la mer à Rangiroa (Les Tuamotu), compte rendu d'installation n°73 SHOM/GOP/BHPF/NP du 15 juillet 2009
- Guillot, A., 2009, Mission NIVMER09-DDU, (Décembre 2008 - Janvier 2009), 32pp.
- Letetrel, C., M. Marcos et G. Wöppelmann, 2009, The Marseille Tide Gauge: Analysis of Sea Level Extremes during 1885-2007, European Geosciences Union, Vienna, Austria, EGU2009-14121
- Leroy R., 2009. Apport des télémètres radar en hydrographie et évaluation de leurs performances, Annales hydrographiques, n°774, première partie, pp. 1-9.
- Mellet M., 2009. Conception d'une bouée GPS et étude de faisabilité d'un système GPS tracté pour mesurer le niveau de la mer, rapport de projet de fin d'études ENSIETA, 79pp.
- SGMer, 2009, Projet d'instruction permanente du Premier Ministre relative à l'observation du niveau de la mer et à la gestion et à la diffusion des données en résultant - Réunion de travail du 29 mai 2009 , Lettre du secrétaire général de la mer n°318/SGMer du 19 mai 2009
- SHOM, 2009, Rapport des installations et étalonnages des marégraphes du réseau d'observation du niveau de la mer (RONIM) en 2009, RAP2010-012, 82pp.
- Tanguy Y.M., 2009, Mise en place du réseau d'alerte tsunami et de surveillance du niveau moyen de la mer en Polynésie Française, compte rendu de réunion n°112 SHOM/GOP/BHPF/NP du 5 décembre 2009
- Tiphaneau, P. et L. Fichen, 2009 Mission NIVMER09, rapport de mission, 45pp.
- Woodworth, P. L., L. J. Rickards et B. Pérez, 2009a, A survey of European sea level infrastructure, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, pp. 927-934
- Woodworth, P. L., N. Pouvreau et G. Wöppelmann, 2009b, The gyre-scale circulation of the North Atlantic and sea level at Brest, Ocean Sci. Discuss., 6, pp. 2327-2339
- Wöppelmann G., R. Créach, L. Testut, 2009a, National Report of France to the XIth GLOSS Group of Experts Meeting, held at UNESCO, Paris, 13-15 May 2009, 5pp.
- Wöppelmann, G., N. Pouvreau, A. Coulomb, B. Simon et P. Woodworth, 2009b, Tide gauge datum continuity at Brest since 1711: France's longest sea-level record (solicited), European Geosciences Union, Vienna, Austria, EGU2009-1891

2 - MÉCANIQUE ORBITALE ET CHAMP DE GRAVITÉ DE LA TERRE

2.1. Mécanique orbitale

2.2. Champ de gravité de la Terre

2.2.1. Missions spatiales

2.2.2. Altimétrie haute résolution

2.2.3. Bureau Gravimétrique International

2.1. MÉCANIQUE ORBITALE

1. Introduction

En 2009, le développement des méthodes de dynamique orbitale s'est poursuivi, avec une mise en œuvre dans les logiciels d'analyse de perturbations orbitales du GRGS, pour des applications spécifiques ayant pour buts :

- L'analyse de l'environnement gravitationnel dans lequel sont placées les sondes vues comme senseurs de force,
- L'analyse de l'environnement non gravitationnel,
- La physique fondamentale,
- L'analyse de mission de projets spatiaux, y compris sur le très long terme, et y compris les vols en formation.

2. Les outils logiciels développés au GRGS sur en 2008

2.1. GINS : Géodésie par Intégrations Numériques Simultanées

Le logiciel GINS a été amélioré sur plusieurs points :

- Introduction de la fonction de mesure GLONASS en vue des traitements hybrides GPS-GLONASS ;
- fixation des ambiguïtés entières GPS non différenciées ;
- la mise en fichier des macro-modèles de satellites, permettant une prise en compte plus facile des caractéristiques optiques, des coordonnées des instruments, de l'attitude des satellites actuels ou à venir ;
- Introduction des fonctionnalités de GPS cinématique permettant le suivi haute fréquence de récepteurs GPS bougeant rapidement (bouées par exemple) ;
- De nouveaux satellites comme Jason2 et MRO ont été introduits ;
- D'un point de vue informatique, un gros effort a porté sur l'amélioration des performances, notamment en diminuant la mémoire vive utilisée (codage en allocation dynamique).

Le logiciel GINS sur PC, disponible pour les équipes de recherches extérieures au CNES, est passé de quinze à vingt cinq inscrits. Une version anglaise de l'Interface Homme Machine a été développée et livrée aux utilisateurs fin 2009.

2.2. Intégration numérique des équations du mouvement

Au sein de LAGRAN/Obiman, un travail a débuté pour préparer une étude de stabilité pour l'intégration des équations du mouvement pour les orbites à fortes excentricités (thèse de Guillaume Lion, OCA).

2.3. CODIOR : Intégration numérique des équations moyennes du mouvement

Les développements de CODIOR en 2009 ont eu lieu dans le cadre du contrat de R&T « Orbitographie long terme » qui lie le CNES à l'OCA. Une nouvelle version a été livrée au CNES à l'automne 2009.

3. Problèmes de mécanique céleste abordés

3.1. Perturbations engendrées par les variations temporelles du champ de gravité

Une évolution de la théorie dite de Kaula a été proposée en 2009, pour comprendre la dynamique des sondes en orbite autour de Mars. L'évolution a consisté à prendre en compte les variations temporelles des premières harmoniques du champ de gravité, avec des périodes annuelles et semi-annuelles. Cela a permis de comprendre l'origine de certains signaux orbitaux dans les séries temporelles des paramètres képlériens de Mars Express et Mars Odyssey, dus en particulier aux zonaux impairs. Les calculs sont détaillés dans le rapport de stage M2 de Guillaume Lion.

3.2. Auto-ombrage d'un satellite dans les calculs des forces de surface

Les différents éléments d'un satellite, tels qu'ils apparaissent dans un "macro-modèle" de sa structure, peuvent se faire ombre mutuellement par rapport à une direction donnée, celle correspondant à l'une quelconque des forces de surface prises habituellement en compte. Ce problème a été peu traité, et à notre connaissance seulement par Mazarico (2008) de l'équipe du GSFC (puis par celle du JPL qui a adopté le formalisme). Dans le cadre d'un stage (Clavier, 1991) l'équipe du GRGS-Toulouse autour de Georges Balmino avait développé une approche simplifiée de cette question, valable seulement dans le cas où tous les éléments du satellite sont fixes l'un par rapport à l'autre, le calcul se réduisant *in fine* à une interpolation dans des tables fonction des angles directionnels traités.

L'étude complète du problème a été reprise, en incluant tous les cas de parties mobiles, et en s'attachant à la séparation des aspects géométriques et topologiques. Une optimisation considérable (par rapport à l'approche de Mazarico) a consisté à identifier des classes de cas particuliers, à discriminer et traiter séparément les situations simples, et enfin à créer et mettre en oeuvre une approche rapide de calcul des pourcentages de surface occultée (par pixellisation et optimisation d'un critère d'appartenance à un compact).

Après vérifications par simulation, les algorithmes ont été implantés dans le logiciel GINS, et utilisés dans le traitement des données des orbiters martiens Mars Odyssey et Mars Reconnaissance Orbiter pour lesquels les situations d'auto-ombrage sont fréquentes et complexes (en particulier pour MRO). L'application à d'autres missions spatiales ne pose aucun problème si ce n'est, pour chaque nouveau satellite, d'étendre (en 3D, voire 4D – pour les parties mobiles) la description géométrique usuelle (pseudo 2D) des macro-modèles.

4. Participants au projet

4.1. GRGS-Grasse

François Barlier, Florent Deleflie, Bertrand de Saint-Jean, Pierre Exertier, Olivier Laurain, Guillaume Lion, Gilles Métris

4.2. GRGS-Toulouse

Georges Balmino, Richard Biancale, Sean Bruinsma, Jean-Charles Marty, Felix Perosanz

5. Références bibliographiques

- J. Fontdecaba, G. Métris, P. Exertier, An alternative representation of the relative motion: the local orbital elements, Volume 45, Issue 3, 1 February 2010, Pages 410-420, doi:10.1016/j.asr.2009.09.008
- S. Valk, A. Lemaitre, F. Deleflie, Semi-analytical theory of mean orbital motion for geosynchronous space debris under gravitational influence, Advances in space research, 2009, vol. 43, n°7, pp. 1070-1082
- F. Deleflie, «Les activités de l'OCA en mécanique spatiale », séminaire du CCT ORB, CNES ? janvier 2009

- F. Deleflie, Effets des zonaux impairs sur le mouvement d'un satellite, séminaire du CCT ORB, mai 2009, CNES
- G. Métris, Ecriture de la la théorie de Kaula par une méthode de transformation, séminaire du CCT ORB, mai 2009, CNES
- G. Balmino, G. (2007, revised 2009), Auto-ombrage/occultation d'un satellite dans le calcul des forces de surface, Tutorial, C.N.E.S., pp. 1-44
- G. Lion, Dynamique des orbites autour de Mars : spectre des perturbations gravitationnelles et analyse de sensibilité de l'orbite, Rapport de stage M2 de l'Observatoire de Paris, dir F. Deleflie P. Rosenblatt, 2009
- G. Lion, F. Deleflie, A. Vienne, G. Métris, J. Fontdecaba, Analytical investigations of MEX and MGS spacecrafts orbit perturbations, and applications, poster CelmecV, Viterbo, septembre 2009

En préparation

- G. Balmino et J.C. Marty, Self-shadowing of a spacecraft in the computation of surface forces. An example in planetary geodesy, en préparation pour la revue "Artificial Satellites - Journal of Planetary Geodesy », Polish Ac. of Sc., Warszawa

2.2.1. CHAMP DE GRAVITÉ DE LA TERRE : MISSIONS SPATIALES

1. GRACE, modèles globaux

Après la première ré-itération des traitements GRACE réalisés en 2008, nous avons poursuivi les traitements routiniers des données GRACE avec les standards de la ré-itération. Ces traitements sont réalisés (sous contrat à Noveltis) par paquet de 4 mois et avec un délai de plus de 2 mois, correspondant principalement au retard contractuel de distribution des données.

Les modèles décennaires de hauteur de géoïde et de hauteur d'eau équivalente (EWH) sont disponibles sur le site web du BGI (<http://bgi.geodesie.fr>) et bientôt du nouveau site web du GRGS (<http://grgs.obs-mip.fr>).

La précision de ces modèles décennaires est évaluée sur les zones où la variabilité est prétendue bien modélisée, sur les océans, ou sur les zones désertiques de variabilité hydrologique quasiment nulle. Ainsi, les modèles développés au degré harmonique sphérique 50, soit à 400 km de résolution, présentent une dispersion de 17 mm EWH sur l'océan global et 13 mm EWH sur le Sahara. Cependant, il faut souligner qu'une contrainte de régularisation est introduite dans l'ajustement des modèles compte tenu que la sensibilité de la mesure au champ de gravité n'est pas homogène en résolution.

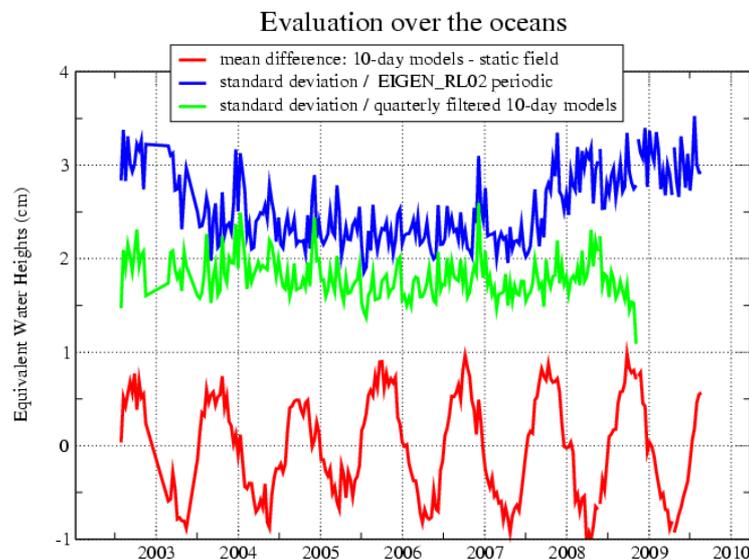


Figure 1 : signaux résiduels GRACE sur les océans montrant une variation périodique annuelle légèrement croissante de la moyenne d'amplitude jusqu'à 1 cm EWH (en rouge) et un rms de 2 à 3 cm EWH par rapport à un modèle périodique incluant les périodes annuelle et semi-annuelle (en bleu) et de l'ordre de 1,7 cm EWH après filtrage des variations inter-trimestrielles (en vert).

Par ailleurs, des études sur la réduction des artéfacts méridiens et zonaux ont été entreprises. Les unes par l'application de nouvelles méthodes de régularisation (Swenson, valeurs propres...), qui n'ont pas été concluantes, les autres par la constatation d'un décalage systématique entre attitude et correction du centre de masse de la mesure K-band range (KBR) ou K-band range-rate (KBRR).

Cette dernière étude a permis de corriger les valeurs de la correction de centre de masse sur les deux satellites GRACE (dans les directions tangentielle et normale à l'orbite) et leur application

aux mesures KBRR a montré une réduction substantielle des striations en latitude visibles dans l'ensemble des modèles tout en diminuant les résidus KBRR. Les écarts-types des modèles décennaires ont été améliorés jusqu'à 40% en relatif. Cette correction est dorénavant appliquée aux traitements opérationnels en remplacement de la correction des fichiers de niveau 1b du JPL. Elle a nécessité en amont une modification de la procédure de filtrage/dérivation des fichiers KBR du JPL.

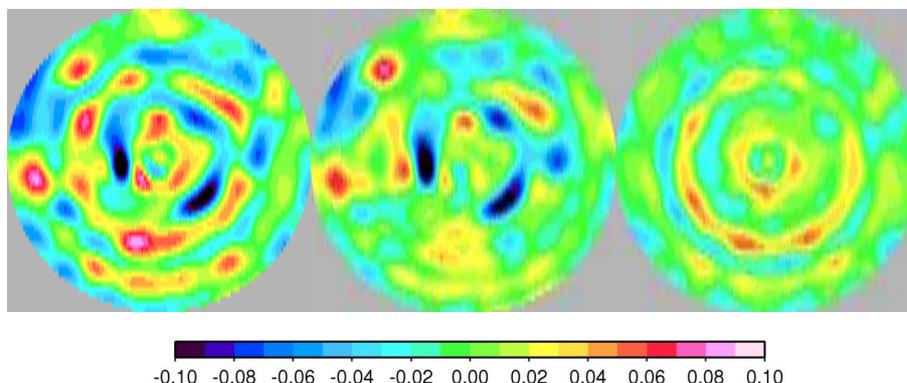


Figure 2 : réduction des striations en latitudes sur la calotte sud par modifications des corrections de centre de masse du JPL. Modèle non corrigé à droite, corrigé au milieu, différence à droite ; l'échelle va de -10 à +10 cm EWH.

2. GRACE, modèles régionaux

Dans un cadre plus spécifique à l'hydrologie, nous avons mis en œuvre une méthode alternative à l'approche globale classique en harmoniques sphériques afin d'obtenir une représentation à plus petite échelle, c'est-à-dire ayant une meilleure résolution spatiale (< 200 km). Cette dernière va permettre d'aborder l'étude d'objets en évolution de plus petites dimensions (par exemple : meilleure estimation de l'accélération de la fonte de glaciers côtiers en Antarctique, quantification de la sécheresse de petits bassins sous l'effet du changement climatique, détection des transferts de masse à l'échelle du sous-bassin dans le cas de l'Amazonie). Il existe une motivation très forte de la communauté des hydrologues à disposer de produits GRACE à plus haute résolution spatiale. Une approche de ce type permettrait de s'affranchir de problèmes numériques inhérents à la représentation globale classique qui représentent des sources d'erreur importante : singularité numérique aux pôles géographiques, perte d'énergie aux hautes fréquences par troncature trop importante du spectre harmonique, phénomène de « leakage » de l'énergie du signal en dehors de la zone d'étude, et ondulations méridiennes non réalistes dues aux résonances d'orbite.

Des méthodes similaires ont été proposées par différentes équipes dans le monde, ainsi la NASA met actuellement ses solutions régionales dites « mascons » à la disposition de la communauté scientifique (<http://grace.sgt-inc.com>), mais leur résolution spatiale étant de 4 degrés est encore trop faible, d'autre part les solutions « mascons » sur les calottes polaires ne sont pas accessibles.

2.1. Notre approche régionale se décompose en quatre phases successives :

1. Le calcul du potentiel gravitationnel à l'altitude des satellites GRACE (400-500 km) en utilisant la méthode de l'intégrale de l'énergie et à partir de données d'orbite (positions, vitesses, forces non conservatives et distances/vitesses inter-satellite KBR). Cette étape s'appuie sur l'utilisation du logiciel d'orbitographie GINS -développé par le GRGS à Toulouse- qui fournit des orbites journalières ajustées à partir de pseudo ou de vraies observations GRACE (mode « drag-free », c'est-à-dire avec correction des forces de frottement et échantillonnées à 5 et 10 secondes).

2. La sélection d'une région et le calcul d'un pavage régulier sur cette zone géographique, c'est-à-dire la décomposition de cette zone en éléments de surface homogènes, rectangulaires, triangulaires ou de forme adaptée à celle du bassin hydrologique.
3. Le calcul de l'opérateur Newtonien entre les positions des satellites et les positions des éléments de surface, en tenant compte de la réponse élastique de la surface de la Terre (i.e., nombres de Love).
4. L'inversion robuste de ce système linéaire correspondant -qui demeure mal conditionné- en utilisant des outils de régularisation (ex. décomposition en valeurs singulières et critère de Tikhonov) pour la stabilisation. Nous avons choisi de déterminer des fonctions « densité de surface » exprimées en kg/m^2 , c'est-à-dire que des hauteurs équivalentes d'eau sur les éléments de surface – si la masse volumique de l'eau ($1000 \text{ kg}/\text{m}^3$) est prise comme référence.

2.2. Chronologiquement, les étapes du développement de la méthode régionale ont été :

1. Tests sur des orbites synthétiques mensuelles ou à 10 jours : traitement et inversion (période : 2007-2009).

1.1 La démonstration de la validité de l'intégrale de l'énergie (vérification de la conservation de l'énergie mécanique des satellites GRACE, le potentiel de chaque véhicule de GRACE a ainsi été simulé à $10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}^2$ près).

1.2 Le calcul théorique et vérification des potentiels gravitationnels des phénomènes perturbateurs connus (attraction du Soleil, de la Lune et des autres planètes, variations de masse de l'atmosphère et des océans, marées, mouvements du pôle), en vue de la correction des données réelles pour extraire la composante du champ de gravité correspondant à l'hydrologie continentale.

1.3 La mise en oeuvre de méthodes de régularisation pour l'inversion robuste de systèmes linéaires énormes (mise à part le grand nombre d'observations le long de l'orbite, le nombre important de paramètres à ajuster est le prix à payer pour une résolution spatiale plus fine !).

2. Traitement de vraies données GRACE (période : fin 2009)

Calcul des premières solutions à l'échelle continentale (ex. continent sud-américain), et présence de bruit dans les données réelles qui altère l'inversion.

3. GOCE

GOCE (Gravity field and Ocean Circulation Explorer), la première mission cadre sélectionnée à l'ESA dans le programme Earth Explorer, a été lancée le 17 mars 2009. Le consortium EGGc (European GOCE Gravity consortium), dont l'équipe de Géodésie Spatiale du CNES fait partie, a fait des premières analyses des données GPS, senseurs d'étoiles et du gradiomètre en coopération étroite avec l'ESRIN.

GOCE a été injecté à l'altitude de 283 km. Après une première phase de tests, l'ESA a laissé dériver le satellite jusqu'à 255 km d'altitude sur recommandation de l'EGGc, altitude atteinte en septembre 2009. Dès lors, deux procédures d'étalonnage des accéléromètres ont été menées. Toutefois, le niveau de bruit dans la bande passante s'avère pour le moment plus élevé d'un facteur 2 à 3 par rapport aux spécifications. Le traitement des données brutes par le PDS (Payload Data System) de l'ESRIN a connu beaucoup de problèmes (réinitialisation du filtre Kalman, perte de données dans la chaîne de traitement, etc.) et fin 2009 les données gradiométriques n'étaient pas encore utilisables de façon opérationnelle. Le processeur du PDS devrait être modifié et corrigé fin janvier 2010, pour un démarrage du traitement opérationnel des données par EGGc en février.

Le récepteur GPS marche très bien, et les orbites précises ont été calculées depuis le début de la mission. La précision des orbites est environ 1.5 cm en 3D, et l'exactitude 2.5 cm, estimée grâce

aux données de suivi laser. Pendant la phase de dérive d'orbite (sans activation de la propulsion), nous avons estimé les paramètres d'étalonnage des accéléromètres en mode commun sur 5 jours et les facteurs d'échelles sont à moins de 5% de 1 (il n'est pas possible d'estimer les paramètres d'étalonnage par la méthode du calcul d'orbite précise quand la propulsion est en marche). Nous avons aussi traité 5 jours de données de niveau 1b du gradiomètre pour tester notre filtre sur des observations. De nombreux pics de grande magnitude (plusieurs millions d'Eötvös) demeurent dans ces données qui font échouer le filtrage de Kalman, apparemment dus au problème des réinitialisations du filtre Kalman au niveau du PDS. Mais pour les quelques journées sans problèmes, l'écart type des résidus s'élève à 10-15 milli-Eötvös, ce qui est très encourageant pour un début de mission, considérant un bruit instrumental d'environ 5 milli-Eötvös.

Les traitements en 2009 étaient donc encore épisodiques, et a surtout aidé à vérifier notre logiciel et les interfaces. Nous pensons commencer le traitement des données de niveau 2 en février 2010 pour un premier modèle du champ de gravité en mai 2010.

4. MICROMEGA

Le projet MICROMEGA de configuration orbitale pour une nouvelle mission de gravité dédiée à l'étude de la variabilité du champ de gravitation de la Terre a été soumis au séminaire de prospective du CNES tenu en mars 2009. Auparavant, des études de simulations analytiques (pour évaluer la sensibilité en altitude, distance inter-satellite, bruit de mesure...) et numériques en présence de « bruit d'aliasing » sur différents scénarios orbitaux : roues gravitationnelles à 2 ou 3 satellites, configurations pendulaire, multi-tandems... avaient démontré la pertinence de configurations orbitales particulières pour cartographier le champ de gravité de la Terre de façon plus homogène qu'avec un seul tandem dans un même plan orbital, tel GRACE. De plus, un groupe mission a été formé en support scientifique, un rapport sur « les objectifs scientifiques pour une nouvelle mission de gravimétrie spatiale » a paru en mars 2009 incluant de nombreux soutiens internationaux. Il s'en est suivi une acceptation en phase 0 par le CNES, ce qui conduit à poursuivre en étude de faisabilité technique par le service du PASO/CNES (Plateaux d'Architecture des Systèmes Orbitaux).

Dans le cadre de la coopération spatiale souhaitée entre la France et l'Allemagne, le projet MICROMEGA a été proposé mais non retenu. Une nouvel espoir de réalisation réside dorénavant dans la mission Earth Explorer-8 de l'ESA pour laquelle un consortium entre équipes françaises et allemandes a été constitué. Une réponse d'intention a été déposée sous le nom d'E.motion (Earth system Mass transpOrT missIOn). Un dossier est dorénavant en cours de réalisation pour être déposé d'ici le 1er juin 2010.

5. Participants au projet

G. Balmino	(CNES/GRGS, Toulouse)
R. Biancale	"
S. Bruinsma	"
S. Gratton	"
J.-M. Lemoine	"
J.-C. Marty	"
N. Vales	"
G. Ramillien	(CNRS/GRGS, Toulouse)
P. Gégout	"
M. Horwath	(LEGOS, Toulouse)
S. Bonvalot	(IRD/BGI, Toulouse)
I. Panet	(IGN/GRGS, Marne-la-Vallée)

2.2.2. CHAMP DE GRAVITÉ DE LA TERRE : ALTIMETRIE HAUTE RESOLUTION

1. Présentation du projet GRAL : GRavimétrie haute résolution par ALtimétrie

Ce projet piloté par le GRGS/SHOM est réalisé en collaboration avec l'IFREMER (département géosciences marines) et l'IUEM (UMR 6538 Domaines océanique - UBO - CNRS) de Brest. Il se situe en amont des prochaines missions altimétriques. Il s'agit de réaliser un bilan des modèles gravimétriques actuellement disponibles et après avoir identifié les besoins précis en terme de couverture spatiale et de précision, de spécifier une future mission altimétrique. Les apports des missions déjà programmées ainsi que les possibilités induites par des constellations de micro satellites sont évalués.

2. Avancement

Les travaux menés en 2009 ont concerné le thème 3 et 4 du plan d'objectif ci-dessus. La préparation du séminaire de prospective du CNES a concentré l'activité jusqu'en avril 2009.

Cette phase d'analyse et de proposition de mission s'est achevée par un article de synthèse des missions altimétriques pour la gravimétrie qui a été soumis à EOS en septembre 2009. L'article est accepté (lettre de décision novembre 2009) et devrait paraître bientôt.

Le contrat de G Louis (CDD CNES/INSU) s'est achevé en août 2009. Depuis l'équipe a continué à travaillé mais à temps partiel sur ce sujet en travaillant sur les corrections de l'article EOS. Le travail a porté notamment sur la clarification du projet (voir le tableau 1 et la figure 1).

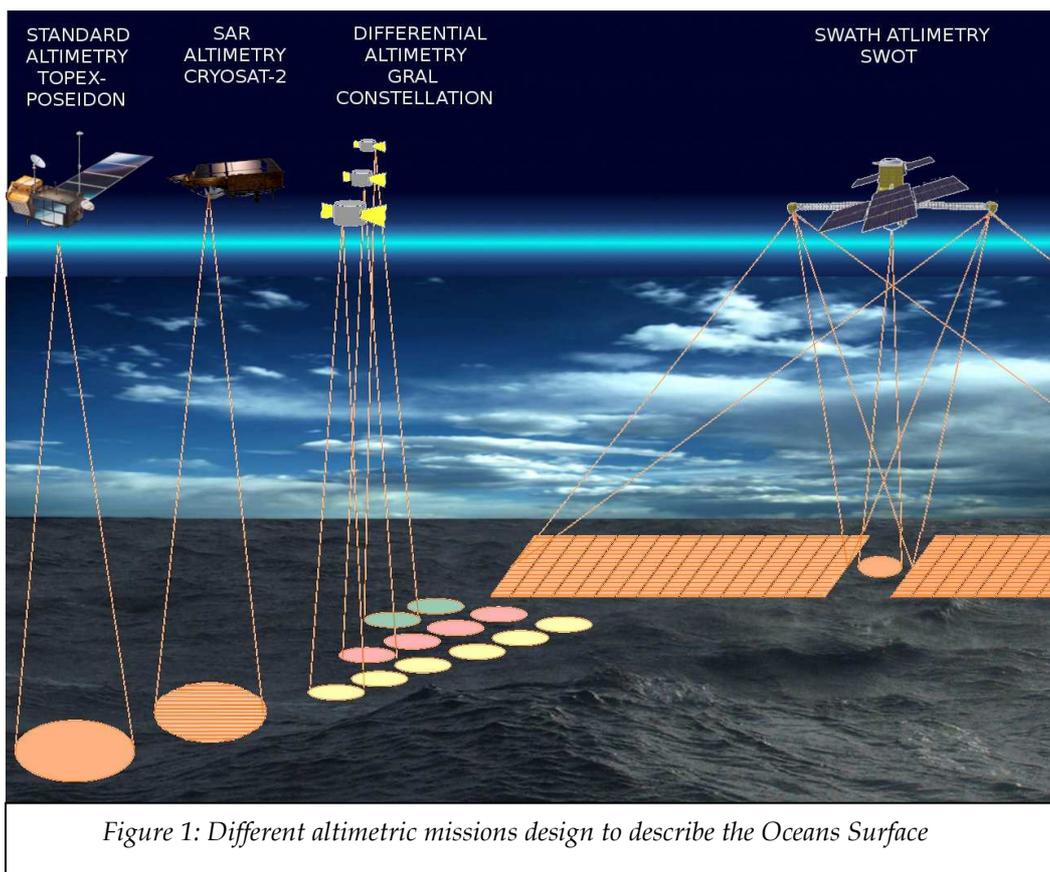
3. Mise en place de collaboration internationale :

A l'occasion du « Science day meeting » du comité GEBCO (General Chart of the Oceans) qui s'est tenu à Brest et était organisé par le SHOM, une réunion d'une journée s'est tenue à l'IUEM avec W H Smith sur la thématique altimétrique.

De plus, une présentation du projet et de ses perspectives en bathymétrie a été faite au comité TSCOM (Technical Sub-committee on Ocean Mapping) de la GEBCO. Le comité a ainsi décidé d'accorder son soutien au projet GRAL. Ce soutien fera l'objet d'une lettre qui pourra être envoyée au besoin. Il est important de noter que la communauté bathymétrique trouve un intérêt non négligeable aux applications de l'altimétrie pouvant compléter les sources d'information marines.

Altimetry Mission		Year	Repetitive-ness	Maximum latitude	Measurement spacing at the Equator	Height RMS accuracy	Slope accuracy
Current and past missions	GEOSAT	1985-86	drifting	72°	4 km	13 cm	3.2 μ Rad at 9 km *
		1986-90	17 days		164 km	6.5 cm **	2.2 μ Rad at 9 km *
	TOPEX	1992-2005	10 days	66°	315 km	1.2 cm **	1.2 μ Rad at 9 km *
		ERS-1	1992-93+	35 days	82°	79 km	2.5 cm **
	1995-96		8 km			13 cm **	
	Jason-1	2001-...	10 days	66°	315 km	1.7 cm ***	1.7 μ Rad at 10 km
	Jason-2	2008-...				cal/val phase	
Planned missions	Cryosat-2	2010	369 days	88°	uncorrelated	3.5 cm NRT	2.1 μ Rad at 10 km
	SARAL	2010	35 days	82°	150 km	3.2 cm NRT	1.5 μ Rad at 10 km
	Sentinel-3	2011	27 days	81°	100 km	3.0 cm NRT	2.1 μ Rad at 10 km
Proposed missions	ABYSS	not funded	drifting	50-63°	6 km	uncorrelated	1 μ Rad at 6 km
	SWOT	2016?	22 days	78°	1 km at best without gap due to its 140 km swath-width	Varies along the swath, mean 3cm, max 4cm at edges	Max 0.8 μ Rad at 5Km
	GRAL	2016?	265 days	82°	5 km	uncorrelated	1 μ rad at 10 km

Table 1: Main parameters of past and present altimetric missions (NRT=near real time). "Measurement spacing" avoids any possible confusion between footprint and resolution. (Sources: * Sandwell et al., 2009; ** Schaeffer et al, 1998; * Leben et al, 2003)**



4. Participants au projet

MF Lequentrec-Lalancette (GRGS/SHOM) D. Rouxel(GRGS/SHOM), Louis Geli (IFREMER), Jean-Yves Royer (UMR 6538 Domaines océanique UBO-CNRS), Marcia Maia (UMR 6538 Domaines océanique UBO-CNRS), Gilles Louis (UMR 6538 Domaines océaniques UBO-CNRS), M Faillot (SHOM).

5. Références bibliographiques

Rapport GRAAL : Projet "gravimétrie par altimétrie haute résolution" pour le séminaire de prospective du CNES; de mars 2009 : TERSOLGRGSGRAA.doc

Contribution au rapport Terre Solide du séminaire de prospective du CNES (mars 1 2009)

G Louis, MF Lequentrec-Lalancette, D Rouxel, L Geli, JY Royer, M Maia, M Faillot, Toward a high resolution geoid from altimetry: requirement for a new mission, 2009, EOS accepted.

2.2.3. CHAMP DE GRAVITE DE LA TERRE : BUREAU GRAVIMETRIQUE INTERNATIONAL

1. Rappel des objectifs, missions et statuts du BGI

Le BGI est un service de l'Association Internationale de Géodésie (IAG) actuellement rattaché à l'International Gravity Field Service (IGFS). Il était également jusqu'en 2008 un service de la Fédération des Services d'Astronomie et de Géophysique (FAGS) dépendant directement de l'ICSU (International Council of Scientific Unions) et doit intégrer prochainement le World Data System (WDS), né de la fusion des services FAGS et WDC (World Data Center).

Le mandat du BGI est de collecter, valider et redistribuer les données gravimétriques acquises à la surface du globe (Geodesist Handbook, 2007). A ce titre, le BGI gère et développe une base de données gravimétriques comportant à ce jour plus de 12 millions de mesures issues de campagnes à terre, en mer ou de levés aéroportés collectées depuis plusieurs décennies. Il répond à des demandes d'extraction de données émanant d'utilisateurs privés ou publics. Le BGI contribue également, avec le soutien d'organismes et de laboratoires français, à des actions de recherche et de développement dans le domaine de la validation, de l'interprétation ou de l'exploitation de données de pesanteur. Il participe en outre à des actions de formation et d'expertise en gravimétrie. Installé depuis sa création (1951) en France, le BGI est hébergé par l'Observatoire Midi-Pyrénées (OMP) depuis 1981 et est labellisé comme Service d'Observation INSU depuis 1997.

Les activités du BGI en France sont soutenues par une dizaine d'organismes nationaux qui contribuent à son fonctionnement par des moyens matériels ou humains et qui participent directement aux activités de service, de recherche et développement et de formation menées au sein du BGI. La contribution de chacune des parties est définie par une convention cadre réactualisée tous les 4 ans.

2. Bilan des activités 2009

L'année 2009 a été consacrée à la consolidation du projet proposé et initié dans le cadre du quadriennal 2007-2011. Les principales actions portent sur (1) la modernisation des bases de données (avec implémentation d'une nouvelle base globale de mesures gravimétriques absolues), (2) la définition d'un site internet enrichi de nouvelles fonctionnalités, (3) la réalisation de la carte gravimétrique mondiale pour la Commission de la Carte Géologique du Monde et l'UNESCO.

Parallèlement, le BGI a poursuivi ses activités de service relatives à l'archivage et à la diffusion de données gravimétriques (intégration et validation de nouvelles données, réponses aux demandes d'extraction de données ou de produits, etc.). Il a également poursuivi certaines actions entreprises sur des développements logiciels ou sur d'autres projets scientifiques (voir détail ci-après).

2.1. Aspects contractuels

La convention relative au fonctionnement du BGI soumise aux organismes partenaires (BRGM, CNES, ESGT, IFREMER, CNRS/INSU, IGN, IRD, SHOM, OMP) en 2008 a été signée par

l'ensemble des Directeurs d'organismes. Un élargissement a été proposé pour intégrer l'IFREMER, comme partenaire du BGI, la banque de données SISMER de l'IFREMER assurant déjà l'archivage des données gravimétriques collectées par les navires de recherche français. Une coopération a été officialisée (Memorandum of Understanding) avec le BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Allemagne) pour la mise en œuvre et le maintien de la base de données de gravimétrie absolue du BGI. En 2009, le BGI a également intégré, avec d'autres services nationaux (RENAG, FROG, Obs. Gravi EOST), le nouveau Service d'Observation « Gravimétrie-Géodésie » mis en place par l'INSU.

Les trois grandes priorités proposées dans le cadre du quadriennal 2007-2011 sont rappelées ici:

- relancer la collecte des données et faciliter une mise à disposition via internet des données et produits générés par le BGI,
- initier la construction d'une base de données de gravimétrie absolue globale,
- poursuivre des actions de recherche et de formation valorisant la base de données du BGI, en liaison avec les organismes de soutien du BGI.

2.2. Réalisation d'une base de données globale de gravimétrie absolue

Cette action a été entreprise en 2007 en collaboration avec le BKG (Allemagne) pour construire une base de données globale de gravimétrie absolue. L'application AGRAV développée par le BKG a été installée au BGI en Septembre 2007 et modifiée à notre demande par le BKG pour prendre en compte les besoins spécifiques du BGI. Cette base de données, désormais installée sur un serveur de l'OMP est opérationnelle depuis 2008 et accessible via le site Internet du BGI et un site miroir du BKG. Les informations consultables et téléchargeables allant de la « méta-donnée » (localisation des sites de mesure), à des données plus complètes (valeurs absolues de la pesanteur, détail des traitements, fiche descriptive des stations...) jusqu'aux fichiers bruts d'observation. La collecte et l'intégration de données de divers pays dans la base sont effectuées par le BGI et le BKG, soit directement par les utilisateurs eux-mêmes (possibilité aux contributeurs de télécharger les observations dans la base à travers l'interface Internet). Une partie des observations issues des gravimètres français FG5 et A10 a été intégrée. La compilation et l'intégration des données à l'échelle globale doit se poursuivre avec l'aide des partenaires du BGI, spécialisés dans le domaine de la gravimétrie absolue.

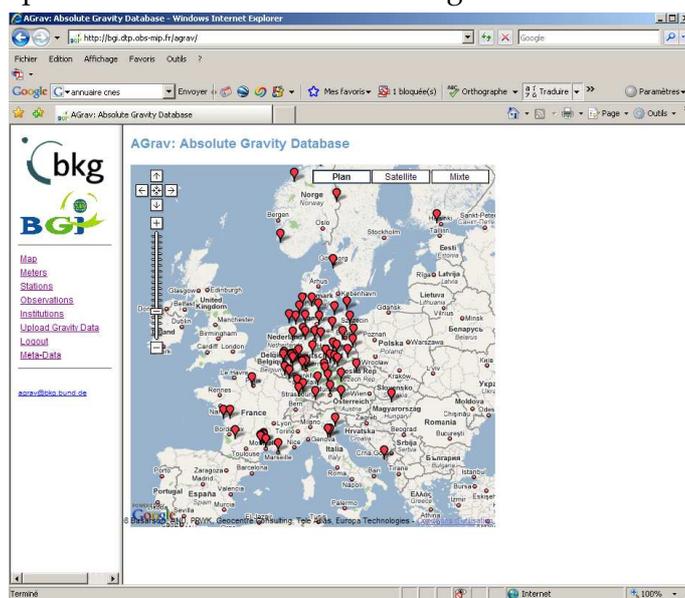


Fig 1 : Interface Internet de la base de données de gravimétrie absolue (BGI-BKG)

2.3. Réalisation d'un nouveau site Internet / Refonte des bases de données

Le site Internet du BGI a été redéfini grâce à un soutien de l'IRD. Une première maquette avait été élaborée et mise en ligne rapidement en 2008 dans le but d'harmoniser ce site avec ceux

d'autres services rattachés à l'IGFS et permettre l'interrogation de la base de données gravimétrique absolue. En 2009, une nouvelle version enrichie du site internet BGI a été développée sous un nouveau CMS (EZ-Publish), afin de faciliter sa gestion à l'OMP et la mise à jour des contenus et offrir de nouvelles fonctionnalités (accès simplifié aux données et produits BGI, accès à de nouveaux services, etc.). Le site mis en service en 2008 (<http://www.geodesie.ird.fr>) sera remplacé ce mois ci par la nouvelle version en cours d'achèvement (consultable en version provisoire sur <http://bgi.omp.obs-mip.fr>). Ce site donne notamment accès aux bases fondamentales du BGI (mesures relatives terrestres ou marines, mesures absolues, stations gravimétriques de référence) ainsi qu'aux données spatiales GRACE issues des produits CNES/GRGS. Cette action s'est accompagnée d'une refonte complète des bases de données gravimétriques développées au BGI depuis une vingtaine d'année.

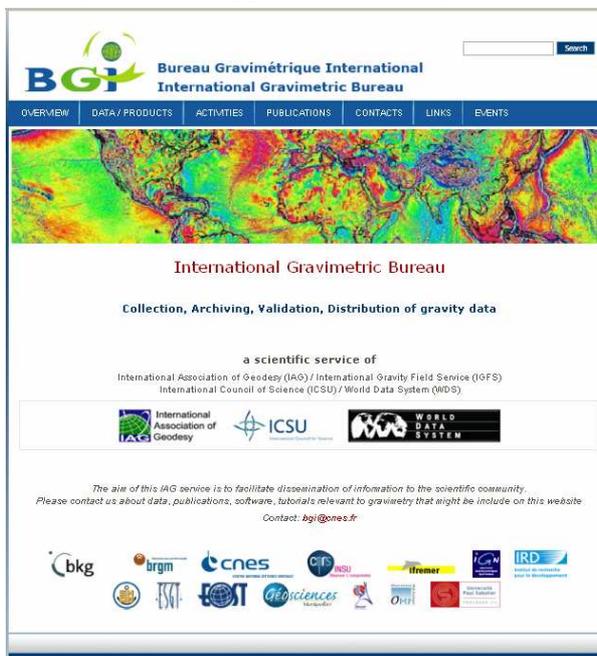


Fig 2 : Page d'accueil du futur site Internet BGI qui doit être mis en ligne en Mars 2010 (consultable en version provisoire sur <http://bgi.omp.obs-mip.fr>).

2.4. Réalisation d'une carte gravimétrique globale (Projet World Gravity Map)

A l'initiative du BGI et de la Commission de la Carte Géologique du Monde (CCGM), un projet de réalisation d'une carte globale des anomalies de pesanteur a été initié en 2007 avec le soutien de l'IAG, de l'IGFS et de l'UNESCO. Ce projet « WGM » (World Gravity Map) vise à mettre à disposition de la communauté internationale une carte des anomalies (ou perturbations) gravimétriques, corrigée de la topographie, et divers produits dérivés (grilles numériques d'anomalie, livret en différentes langues...), pour des applications de recherche et d'éducation. Ce projet doit venir compléter une série de carte géologiques et géophysiques globales produites par la CCGM (<http://ccgm.free.fr>), à l'instar de la carte magnétique mondiale publiée en 2007 (et qui sera disponible sous forme numérique à une résolution spatiale de 3'x 3').

Le projet WGM prévoit d'intégrer l'ensemble des mesures à terre et en mer disponibles dans la base du BGI ou dans d'autres bases globales ou régionales. Un appel à contribution a été lancé en 2007 et 2008 auprès des services nationaux ou internationaux de divers pays du monde, pour collecter de nouveaux jeux de données. Il prévoit également d'intégrer des modèles globaux issues de données d'altimétrie ou de gravimétrie spatiale tels que les modèles EGM08 et DNSC08 produits dans le courant de l'année 2008 respectivement par le National Imagery and Geographic Agency (NGA) et le Danish National Space Center (DNSC), collaborateurs de ce projet. Comme les autres cartes produites par la CCGM, le projet WGM est prévu comme un

projet itératif : les cartes et produits pouvant être réactualisés dans le temps en fonction de la disponibilité de nouveaux jeux de données. La première version devrait être directement issue du modèle EGM08. La Fig. 4 montre les cartes globales d'anomalies à l'air libre et d'anomalies de Bouguer calculées au BGI à partir du modèle EGM08. Pour les besoins de cette carte, de nouveaux développements ont été réalisés au BGI par G. Moreaux (Noveltis) dans le cadre d'un contrat CNES et par G. Balmino, afin d'inclure le calcul global des corrections topographiques en symétrie sphérique. La publication des cartes est prévue en 2010.

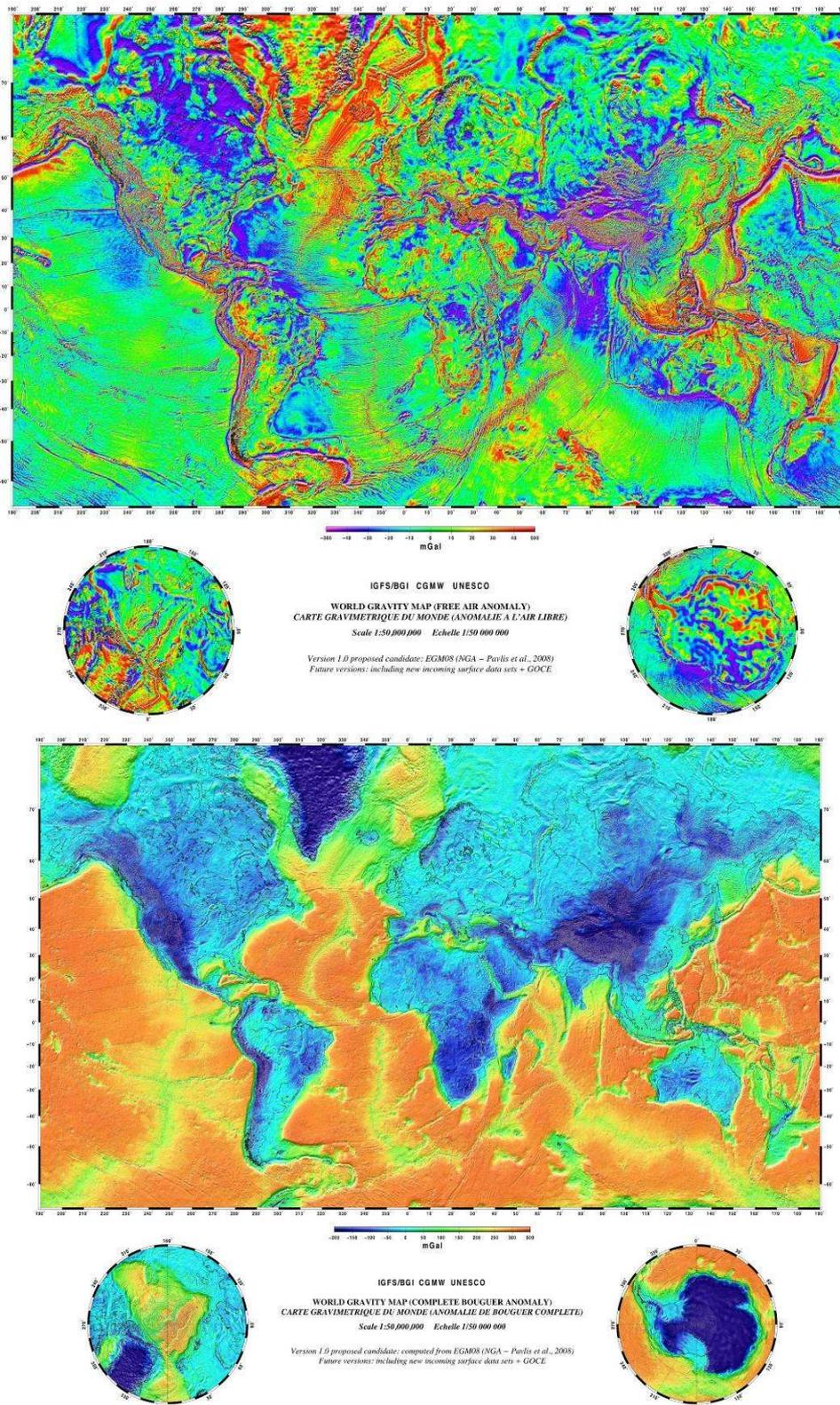


Fig 4 : Version préliminaires des cartes anomalies à l'air libre et Bouguer corrigées de la topographie calculées au BGI pour la CCGM (d'après les modèles EGM08/DNSC08)

2.5. Autres activités

2.5.1. Accueils de personnels au BGI

- Peyrefitte (CDD Ingénieur CNES-BRGM) de Sept. 2008 à Sept. 2009 : contribution au projet de carte gravimétrique mondiale et préparation à l'exploitation de données GOCE.

2.5.2. Développements méthodologiques et logiciels

- Calcul global de correction de terrain en symétrie sphérique (G. Balmino, G. Moreau)
- Calcul à haute résolution du champ de gravité en harmoniques sphériques (G. Balmino)
- Validation/ajustement de données de gravimétrie marine « Sea Gravi Adjust » (T. Fayard)

2.5.3. Participation du BGI aux congrès et réunions scientifiques

- IAG 2009 Scientific General Assembly (B. Aires, Argentina, Aug 31 - Sept. 4, 2009)
- AGU 2009 Fall Meeting (San Francisco, USA, Dec 14-18, 2009)
- CGMW General Assembly / UNESCO (Paris, France, Feb. 15-16, 2010)
- 2nd IAG meeting on « Terrestrial Gravimetry » (St. Petersburg, Russia, June 22-25, 2010)

2.5.4. Participation du BGI à des comités ou instances scientifiques

- Scientific Committee IAG 2009 "Geodesy for Planet Earth" (B. Aires, Argentina, Sept 2009)
- Scientific Committee IAG Meeting « Terrestrial Gravimetry » (St. Petersburg, Russia, June 2010)
- Advisory Board of IGFS (International Gravity Field Service) (depuis 2007)
- IAG/BIPM commissions « Gravimetry, Gravity networks », « Absolute Gravimetry » (depuis 2007)

2.5.5. Participation du BGI à des projets scientifiques

Projets initiés en 2007 impliquant l'exploitation de données spatiales GRACE ou GOCE

- Projet ANR « Ghyraf / Gravimetry, Hydrology Africa » (Coord. EOST Strasbourg)
- Projet CNES/TOSCA « Solid Earth Exploration with GOCE (SeeGoce) » (Coord. IPG Paris).

2.5.6. Participation du BGI à la formation

9th International IGeS School on "The Determination and Use of the Geoid". Univ. Nacional de la Plata, Fac. de Ciencias Astron. y Geofisicas, La Plata, Argentina, September 7-11.

<http://www.iges.polimi.it/pagine/services/school/school8-LaPlata/GeoidSchool2009.pdf>

- Co-organisation de l'Ecole d'été GRGS-BGI "Mesure et modélisation de la gravité". Sept. 6 - 10, 2010 - Carcan Maubuisson, France. GRGS website : <http://grgs.obs-mip.fr>

3. Participants au projet

3.1. Organismes et membres associés au BGI

Siège du BGI (OMP Toulouse)

CNES (R. Biancale, T. Fayard, F. Reinquin, G. Balmino) / CNRS (A. Briais, N. Lestieu) / IRD (S. Bonvalot, G. Gabalda, C. Luro) / CDD CNES-BRGM (A. Peyrefitte : 09/2008 - 09/2009)

Autres contributeurs (hors OMP Toulouse)

BKG Germany (H. Wziontek, H. Wilmes) / **BRGM** Orléans (G. Martelet) / **ESGT** Le Mans (J. Cali, L. Polidori) / **EOST** Strasbourg (J. Hinderer, M. Amalvict) / **Géosciences Montpellier** (R. Bayer, N. Le Moigne) / **IFREMER** Brest (E. Moussat, L. Petit de la Villeon) / **IGN LAREG** Marne-la-Vallée (O. Jamet, I. Panet) / **IPG** Paris (M. Diament) / **SHOM** Brest (M.F. Lalancette, D. Rouxel).

4. Références bibliographiques liées aux activités BGI

4.1. Publications

Hinderer, J., C. de Linage, J.-P. Boy, P. Gegout, F. Masson, Y. Rogister, M. Amalvict, J. Pfeffer, F. Littel, B. Luck, R. Bayer, C. Champollion, P. Collard, N. Le Moigne, M. Diament, S. Deroussi, O. de Viron, R. Biancale, J.-M. Lemoine, S. Bonvalot, G. Gabalda, O. Bock, P. Genthon, M. Boucher, G. Favreau, L. Séguis, M. Descloitres, S. Galle. The GHYRAF (Gravity and Hydrology in Africa) experiment: description and first results. *Journal of Geodynamics* 48, pp. 172-181. doi:10.1016/j.jog.2009.09.014.

Wilmes, H., Wziontek, H., Falk R., Bonvalot, S. AGrav – the New International Absolute Gravity Database and a Proposed Cooperation with the Global Geodynamics Project (GGP). *Journal of Geodynamics*, 48, pp. 305-309. doi:10.1016/j.jog.2009.09.035.

4.2. Communications

Bonvalot, S., A. Briais, R. Biancale, T. Fayard, G. Gabalda, N. Lestieu, C. Luro, A. Peyrefitte, M. Sarrailh. International Gravimetric Bureau (BGI): role, activities and projects. *IAG 2009 Scientific Assembly*, B. Aires, Argentina. Aug 31 – Sept 4, 2009.

Bonvalot, S., G. Gabalda, D. Remy, F. Bondoux J. Hinderer, B. Luck, D. Legrand, N. Lemoigne. Gravity changes and crustal deformation in north Chile: results from Absolute Gravity, GPS and InSAR observations. *IAG 2009 Scientific Assembly*, B. Aires, Argentina. Aug 31 – Sept 4, 2009.

Briais, A., S. Bonvalot, A. Peyrefitte, G. Gabalda, G. Moreaux, M. Sarrailh, T. Fayard, R. Biancale. World Gravity Map (WGM) project: Objectives and Status. *IAG 2009 Scientific Assembly*, B. Aires, Argentina. Aug 31 – Sept 4, 2009.

Wilmes, H., H. Wziontek, R. Falk, J. Ihde, S. Bonvalot, Forsberg, L. Vitushkin. Working Group on Absolute Gravimetry. *IAG 2009 Scientific Assembly*, B. Aires, Argentina. Aug 31 – Sept 4, 2009.

Wziontek, H., H. Wilmes, S. Bonvalot. AGrav: An international database for absolute gravity measurements. *IAG 2009 Scientific Assembly*, B. Aires, Argentina. Aug 31 – Sept 4, 2009.

Bonvalot, S., A. Briais, A. Peyrefitte, R. Biancale, G. Gabalda, G. Moreaux, M. Sarrailh, T. Fayard World Gravity Map (WGM) project: Objectives and Status *AGU 2009 Fall Meeting*. San Francisco, USA, Dec 14-18, 2009.

3 - SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE

- 3.1. Systèmes de référence et rotation de la Terre
 - 3.1.1. Système céleste (ICRS)
 - 3.1.2. Rotation de la Terre
 - 3.1.3. Repère international de référence terrestre (ITRF)
 - 3.1.4. Centre de combinaison
 - 3.1.5. Aspects théoriques
- 3.2. Apports des mesures géodésiques
 - 3.2.1. DORIS
 - 3.2.2. Télémétrie laser-satellites
 - 3.2.3. Télémétrie laser-lune
 - 3.2.4. GNSS
 - 3.2.5. VLBI
 - 3.2.6. Marégraphie

3.1. SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE ET ROTATION DE LA TERRE

Introduction

Le présent rapport décrit brièvement les activités et les faits marquants concernant les composantes de l'IERS en France sur l'année 2009:

1. le service du système céleste ICRS à l'Observatoire de Paris (responsable J. Souchay en coopération avec l'USNO/USA),
2. le service de la rotation de la Terre à l'Observatoire de Paris (responsable D. Gambis),
3. le service du Système Terrestre ITRS au LAREG / IGN (responsable Z. Altamimi).

La section 4 décrit les développements du programme « Centre de Recherche sur les Combinaisons du GRGS » fédérant plusieurs équipes du GRGS.

La section 5 est dédiée aux aspects théoriques concernant la rotation de la terre.

3.1.1. Système de référence céleste (ICRS)

L'équipe « Systèmes de Référence Célestes » du SYRTE (dir. Jean Souchay) poursuit actuellement trois thèmes de recherche, dont deux sont associés à la géodésie spatiale et aux systèmes de référence célestes : il s'agit du suivi au sol de satellites géostationnaires et de l'astrométrie grand champ.

1. Suivi au sol des satellites géostationnaires

Des missions avec le télescope de 1,20 m de l'observatoire de Haute Provence ont été effectués ces mois derniers avec succès avec comme objectif l'observation du satellite WMAP actuellement en orbite et avec des spécificités quasi identiques à GAIA (point de Lagrange L2, magnitude équivalente) Le développement des algorithmes de réduction et de traitement des O-C ont été l'un des objectifs principaux poursuivis ces derniers temps au retour des missions ci-dessus. Elles ont permis au personnel du SYRTE de détenir un véritable savoir faire dans la détermination astrométrique des images sous forme de traînées occasionnées par un satellite ou n'importe quel objet mobile (astéroïde, satellite de grosse planète etc.). Elles ont aussi permis de connaître les performances et les limitations des observations au sol du satellite GAIA programmées dans le cadre GAIA GBOT (CU3). Ce programme va s'étendre pendant toute la mission GAIA, pour fournir des éléments de position et vitesse du satellite avec la précision respectivement d'une centaine de mètres et quelques millimètres par seconde. Ce sont des objectifs difficiles à réaliser, qui doivent durer pendant les cinq ans de la mission GAIA, et avec des observations conduites en différents observatoires. Il est tout a fait impératif de continuer les campagnes d'observation évoquées ci-dessus avant la mission pour mettre au point et optimiser les méthodes d'observation, réduction et normalisation des données. L'équipe « Systèmes Célestes » du SYRTE est particulièrement chargée de développer du traitement des données observationnelles.

2. Astrométrie grand champ à partir des clichés CCD du CFHT

Nous nous sommes lancés depuis deux ans dans une nouvelle activité prometteuse de traitement d'images, la réduction des clichés mosaïque CCD du télescope de 3,60 m du CFHT (Canada France Hawaii Telescope). Chaque cliché mosaïque englobe un champ de 1° carré.

Notre équipe accompagnée d'un certain nombre de stagiaires de master et en collaboration avec des chercheurs étrangers spécialisés du domaine (Imants Platais, Jay Anderson) met au point des algorithmes de détermination optimisée des centres de chaque étoile d'un cliché pour établir in fine un catalogue écliptique de tous les objets, à partir du Very Wide Survey du CFHT qui concerne une bande de +/- 2° de déclinaison autour de l'écliptique. Un sous produit concerne les identifications des satellites artificiels et des astéroïdes présents dans chaque cliché ainsi que la détermination précise de leurs positions.

4. Participants au projet

Christophe Barache (IR, SYRTE)

Sébastien Bouquillon (Astronome Adjoint, SYRTE)

Anne-marie Gontier (Astronome adjoint, SYRTE)

Sébastien Lambert (Astronome Adjoint, SYRTE)

Jean Souchay (Astronome, SYRTE)

Daniel Suchet (Etudiant, Ecole Polytechnique)

François Taris (AI, SYRTE)

+ Etudiants Master

+ Chercheurs étrangers

5. Références bibliographiques

Andrei A.H., J. Souchay, N. Zacharias, R.L. Smart, R. Vieira Martins, D.N. da Silva Nieto, J.I.B. de Camargo, M. Assafin, C. Barache, S. Bouquillon, J.L. Penna, 2009, "An Optical representation of the ICRS " *Astron.J.*, in press

3.1.2. Rotation de la Terre

Le Service de la rotation de la Terre de l'IERS à l'Observatoire a principalement pour tâche la collecte des données relatives aux paramètres définissant l'orientation de la Terre (Earth Orientation Parameters, EOP). Ces données sont archivées et analysées pour être combinées de manière optimale. C'est la solution de référence internationale (EOP IERS C04) mise à la disposition des utilisateurs par les moyens électroniques web/ftp. L'analyse est faite sur deux rythmes distincts, opérationnel en temps quasi-réel et également annuel pour estimer régulièrement la cohérence de la série de référence C04 avec la réalisation courante de l'ITRF. Les traitements opérationnels ont notamment pour applications la navigation interplanétaire et l'orbitographie en temps réel des programmes GPS, JASON, ENVISAT. Les séries à long terme recouvrent la période de 1846 à aujourd'hui pour les coordonnées du pôle, depuis 1900 pour UT1-UTC. Ces séries sont utilisées en particulier pour l'étude de phénomènes géophysiques liés aux variations atmosphériques, océaniques, aux interactions et couplages entre le noyau et le manteau de la Terre ainsi que pour la métrologie fine liée aux systèmes de référence. L'amélioration progressive dans les données et les modèles nous ont amenés à « remettre à plat » l'algorithme de calcul de notre solution combinée IERS C04 en tenant compte des résolutions adoptées à l'UAI en 2000. Une Note Technique IERS sur la description du nouvel algorithme devrait être publiée en 2010. Depuis une dizaine d'années, grâce au développement des techniques d'observation mais aussi aux raffinements conceptuels sur les systèmes de référence géodynamiques et aux diverses modélisations, les problèmes d'exactitude et de cohérence sont devenus prépondérants. Ainsi l'on pense dans un proche avenir déterminer simultanément les paramètres liés à l'orientation de la Terre, les positions des stations d'observation et leur déplacement et les positions des sources extragalactiques qui définissent le système de référence international céleste ou ICRF. Ces méthodes sont déjà en développement dans nos équipes dans le cadre d'un projet fédératif du GRGS et sont l'objet du chapitre 4.

1. Maintenance de la cohérence avec l'ITRF et l'ICRF

L'une des principales tâches est de produire un ensemble d'EOP, cohérent avec l'International Celestial Reference Frame (ICRF) et l'International Terrestrial Reference Frame (ITRF). Les séries opérationnelles ne sont pas parfaitement alignées avec l'ITRF and ICRF. Elles se réfèrent parfois à d'autres systèmes de référence terrestre et céleste réalisés par les centres d'analyse. On peut montrer que l'incohérence des séries EOP par rapport à l'ITRF et l'ICRF produit des effets systématiques entre les séries. A la fin des années de 2006, les incohérences atteignaient 200 μ s pour les coordonnées du pôle, 20 μ s pour UT1 et d'environ 50 μ s pour les offsets en nutation, grandeurs significatives au vu des précisions actuelles. Pour la première fois la dernière réalisation de l'ITRF, ITRF2005 comprend en dehors d'un jeu de positions vitesses de coordonnées terrestres, un ensemble de paramètres de la rotation de la terre, coordonnées du pôle et UT1-UTC dans le système ITRF et ce jusqu'à fin 2006. Nous avons mis notre série de la rotation de la terre dans ce système. Cependant au bout d'un an et demi, il a été nécessaire d'évaluer les incohérences dues aux calculs séparés de l'ITRF d'un part et de notre solution C04 d'autre part. Une nouvelle réalisation de l'ITRF (ITRF2008) est imminente. Nous avons pu vérifier la cohérence de la série provisoire associée à ITRF2008 avec la C04. Les incohérences (Figure 1) atteignent 30 microarcsecondes soit 1 mm environ sur la surface terrestre, valeur inférieure à l'incertitude sur les observations. Notons qu'après 2007, un accroissement de cet écart que l'on peut aisément attribuer au fait qu'à partir de cette date les Centres de phases absolus des antennes sont utilisés pour les traitements GPS dans le cadre de l'IGS.

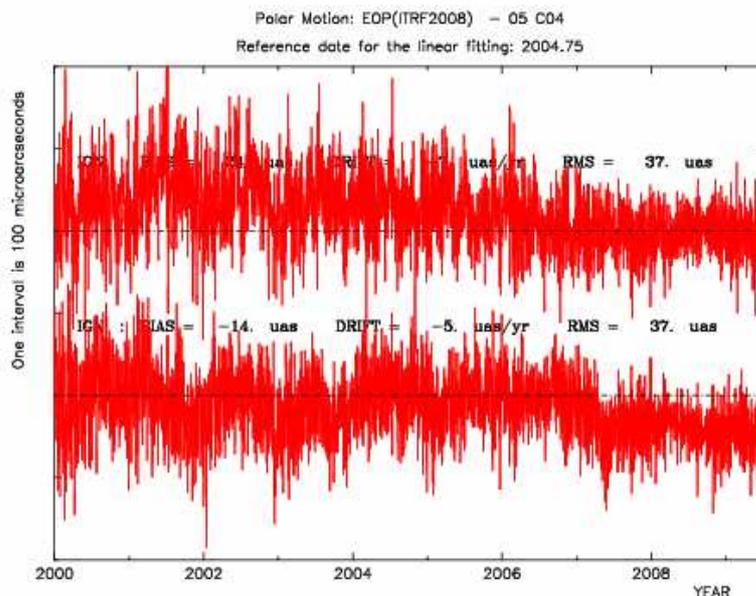


Fig 1 : Composante du mouvement du pôle. Différence de la série provisoire associée à ITRF2008 avec la C04. Les incohérences restent inférieures à 40 micro-arcsecondes (μ s)

2. Amélioration d'UT1 grâce aux données de LOD du GPS

Etant inertielle, le VLBI est, avec potentiellement la télémétrie laser sur la Lune (LLR), la seule technique, permettant de déterminer UT1. La série de référence C04 prend en compte essentiellement la solution IVS combinée ainsi que les sessions intensives. Cependant, il y a parfois des « trous » dans les mesures, des données erronées qui détériorent la qualité de la combinaison et son homogénéité. La qualité croissante des données de LOD dérivées du traitement des données GPS permettent d'envisager de les utiliser dans la combinaison. Deux méthodes sont appliquées: la première est fondée sur l'intégration de la série LOD(GPS) calibré par le VLBI et la seconde utilise le « Combined Smoothing » (Vondrák et Gambis, 2000 ;

Vondrák et Čepék, 2000). Ces deux approches donnent des résultats similaires permettant la densification de la série combinée ainsi que l'amélioration de la cohérence interne (Gambis et Bizouard, 2009). L'exactitude pour UT1 est couramment de 5 μ s, pour les composantes du pôle elle est d'environ 30 μ as (soient quelques mm à la surface de la terre).

3. Maintenance et développement du site web/ ftp

Les améliorations avaient l'objectif de rendre le site web (<http://hiers.obspm.fr/eop-pc/>) plus convivial et de mettre à la disposition des utilisateurs les routines nécessaires à leurs analyses selon les nouvelles résolutions ainsi que des outils interactifs. Cela concerne le développement de programmes de combinaison des séries temporelles de paramètres d'orientation de la Terre (Earth orientation Parameters: EOP) pour former la série de référence internationale, l'implémentation du nouveau modèle de nutation, l'analyse à long terme des séries de EOP, l'estimation de leur cohérence par rapport aux systèmes de référence céleste et terrestre internationaux, la création et le développement d'outils interactifs sur la page WEB du service (PHP, programme Fortran et C interfacés) pour visualiser, analyser, sélectionner les données de la rotation de la Terre. Quelques statistiques concernant le nombre de requêtes au mois de janvier 2010 : C04 et Bulletin B : environ 10000 requêtes ; Bulletin C (seconde intercalaire) : 133 000 requêtes !!

4. Participants au projet

Daniel Gambis	Responsable, Astronome
Christian Bizouard	Astronome adjoint
Nicole Capitaine	Astronome
Gérard Francou	Astronome adjoint
Jean Yves Richard	IR CNRS
Teddy Carlucci	Assistant Ingénieur, développements statistiques et mathématiques
Olivier Becker	Technicien MEN, exploitation opérationnelle
Pascale Baudoin	Adjointe-administrative, secrétaire
Lucia Seoane	Doctorante, thèse soutenue en janvier 2010
V. Zerhouani	Doctorante, thèse soutenue en janvier 2010

5. Références bibliographiques

Publications dans des revues à comité de lecture:

Seoane L., Nastula J, Bizouard C. and D. Gambis, 2009, The use of gravimetric data from GRACE mission in the understanding polar motion variations, *Geophys. J. Int.*, 178, p614-622, DOI 10.1111/j.1365-246X.2009.04181.x

Publications soumises

Kalarus M., Schuh, Kosek W., Akyilmaz O., Bizouard Ch., Gambis D., Gross R., Jovanovic B., Kumakshev S., Kutterer H., Ma L., Mendes Cerveira P.J., Pasynok S, Zotov L., 2009, Achievements of the Earth Orientation Parameters Prediction Comparison Campaign, *subm. to JoG.*

Bizouard C, F. Rémus, L. Seoane and D. Gambis, 2009, Variable atmospheric and oceanic forcing of the Chandler wobble, *subm. to Journal of Geophys.*

Gambis, D., Richard, J.Y.; Bourda G., Loyer, S.; Soudarin, L. and F. Deleflie, 2009, Global combination of astro-geodetic techniques at the normal equations level. Contribution to ITRF2008 realization. *Subm. to a special DORIS Issue of ASR.*

Publications dans des proceedings à comité de lecture

Bizouard C and D. Gambis, 2009, the combined solution C04 for Earth Orientation Parameters, recent improvements, Springer Verlag series, Series International Association of Geodesy Symposia , Vol. 134 Drewes, Hermann (Ed.), pp 265-270., DOI 10.1007/978-3-642-00860-3

Communications avec actes:

Chapanov Y. and D. Gambis, 2009, Solar-terrestrial energy transfer during sunspot cycles and mechanism of Earth rotation excitation Solar and Stellar Variability Impact on Earth and Planet Proceedings IAU Symposium No. 264, 2009 A. Kosovichev, J.-P. Rozelot and A. Andrei (eds).

Chapanov Y. and D. Gambis, 2009, Change of the earth moment of inertia as the observed response to the 11 year solar variation, Proc. Journées Systèmes de Référence 2008, M. Soffel and N. Capitaine (eds.), p131

Bizouard Ch., Gambis D. , Richard J.Y. , Becker O., 2009, Combination of earth orientation parameters from different techniques, Proc. Journées Systèmes de Référence 2008, M. Soffel and N. Capitaine (eds.), p153.

Gambis D., C. Bizouard , 2009, Monitoring UT1 using VLBI and GPS estimates, Proc. 19th European VLBI for Geodesy and Astrometry and EVGA, Bourda, Charlot and Collioud (eds), p107.

Gambis D., 2009, Monitoring Earth Orientation variations; State of the art and prospective, in Transactions IAU, Volume XXVIIIB, Proc. XXVII IAU General Assembly, August 2009, Ian F. Corbett (ed.), p.126

Seoane L., J. Nastula, C. Bizouard, D. Gambis, 2009, Hydrological excitation of polar motion, Proc. Journées Systèmes de Référence 2008, M. Soffel and N. Capitaine (eds.), p149

Présentation à des colloques

Biancale R. and D. Gambis, 2009, Presentation of the IERS Group on Combination at the Observation Level, Workshop on EOP Combination and Prediction, Varsovie, 19-21 Octobre 2009

Bizouard, Remus F., Seoane L., Gambis D., 2009, Variable atmospheric and oceanic forcing of the Chandler wobble, *Eos Trans. AGU*, 90(52), Fall Meet. Suppl., Abstract G11D-0672

Chapanov Ya, D. Gambis, 2009, Solar-terrestrial energy transfer during sunspot cycles and mechanism of Earth rotation excitation, IAU general Assembly, Rio, August 2009.

Gambis D., Z. Altamimi, J.Y. Richard., 2009, monitoring the ITRF/EOP consistency in view of the forthcoming ITRF2008, Geophysical Research Abstracts, Vol.X, EGU2009.

Gambis D. and C. Bizouard, 2009, Monitoring UT1 from astro-geodetic techniques. State of the art and prospective. 27th IAU General Assembly, Rio de Janeiro, Brazil

Gambis D. , D. Salstein, O. Becker, 2009, Use of Atmospheric Angular Momentum forecasts for short-term UT1 predictions Workshop on EOP Combination and Prediction, Varsovie, 19-21 Octobre 2009

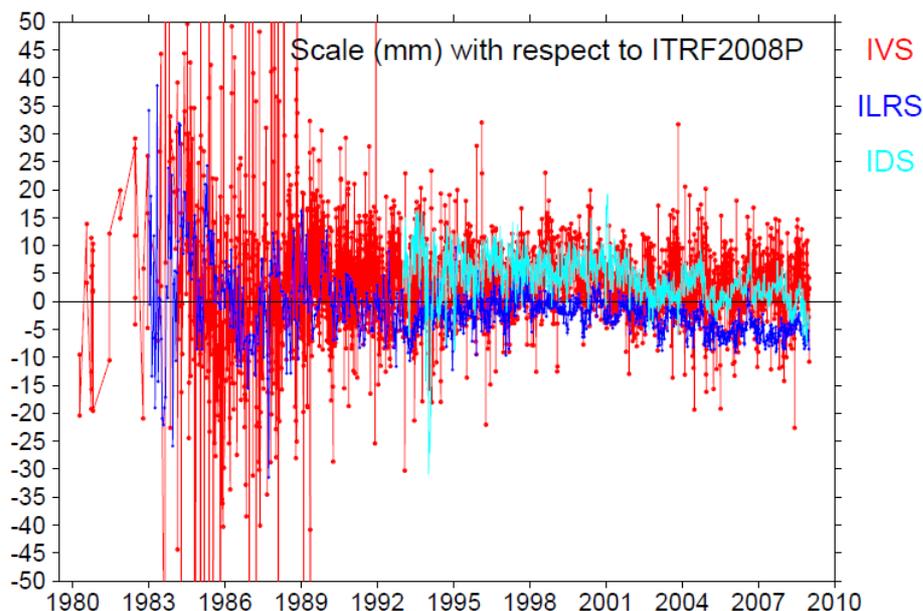
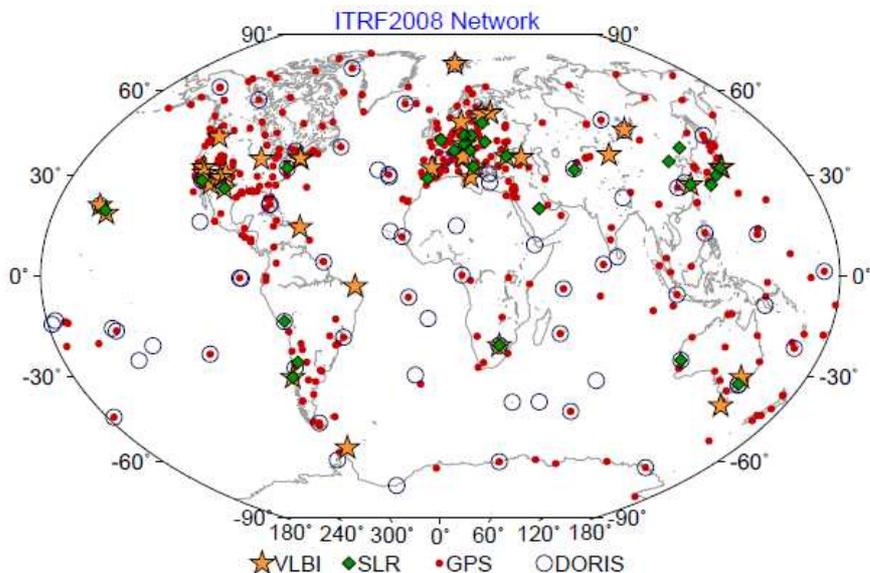
Seoane, L.; Nastula, J.; Bizouard, C.; Gambis, D., 2009, Hydrological excitation of polar motion derived from GRACE observations, Geophysical Research Abstracts, Vol. X, EGU2009.

Seoane L., C. Bizouard, D. Gambis, 2009, Hydrological excitation of polar motion derived from GRACE observation, Geophysical Research Abstracts, EGU2009-7024

3.1.3. Repère international de référence terrestre (ITRF)

Les principaux travaux de recherche et développement entrepris au cours de l'année 2009 s'articulent autour de la préparation de la solution ITRF2008. Ces travaux consistent en premier lieu en des analyses critiques et intensives des données soumises à l'ITRF2008 et des échanges avec les acteurs principaux des quatre techniques qui contribuent à la solution. Une solution préliminaire (et quasi définitive) calculée par le LAREG est prête depuis fin novembre 2009. Il reste deux étapes à franchir avant la publication finale de l'ITRF2008 : (1) comparaison avec une solution calculée par le DGFI, et (2) une évaluations par les quatre techniques de la solution préliminaire. Au moment de la rédaction de ce rapport, l'étape 1 n'a pas encore été

franchie. En effet, des comparaisons entre les solutions IGN et DGFI ont fait apparaître des différences de l'ordre de 5-7 mm, en particulier sur la définition de l'échelle. Ces différences sont manifestement dues aux hypothèses irréalistes adoptées par le DGFI, et en particulier que les deux échelles SLR et VLBI doivent être identiques, d'une part, et l'adoption de 1 mm comme pondération pour une sélection d'un ensemble de rattachements dans les sites co-localisés. Nous nous limitons ici à montrer deux graphiques des résultats de l'ITRF2008 qui se passent de commentaires.



1. Références bibliographiques

Publications dans des revues à comité de lecture:

- Abbondanza, C., Z. Altamimi, P. Sarti, M. Negusini, L. Vittuari, 2009, Local effects of redundant terrestrial and GPS-based tie vectors in ITRF-like combinations, *Journal of Geodesy*, doi:10.1007/s00190-009-0321-6
- Altamimi Z, 2009, ETRS89 realization: current status, ETRF2005 and future development, *Bulletin of Geodesy and Geomatics*, 2009
- Collilieux, X., Z. Altamimi, J. Ray, T. van Dam, X. Wu, 2009, Effect of the satellite laser ranging network distribution on geocenter motion estimation, *Journal of Geophysical Research*, 114(B4), doi:10.1029/2008JB005727

- Collilieux, X., Z. Altamimi, D. Coulot, T. van Dam, J. Ray, 2009, Impact of loading effects on determination of the International Terrestrial Reference Frame, *Advances in Space Research*, doi:10.1016/j.asr.2009.08.024
- Legrand J., N. Bergeot, C. Bruyninx, G. Woppelmann, M-N. Bouin, Z. Altamimi, 2009, Impact of Regional Reference Frame Definition on Geodynamic Interpretations, *Journal of Geodynamics*, 2009
- van Dam, T., Z. Altamimi, X. Collilieux, J. Ray, 2009, Topographically Induced Height Errors in Predicted Atmospheric Loading Effects, *Journal of Geophysical Research*, en cours de révision
- Wöppelmann, G., C. Letretel, A. Santamaría, M.-N. Bouin, X. Collilieux, Z. Altamimi, S. Williams, B. Martín Míguez, 2009, Rates of sea-level change over the past century in a geocentric reference frame, *Geophysical Research Letters*, 36(L12607), doi:10.1029/2009GL038720

Publications dans des Proceedings à comité de lecture:

- Altamimi, Z., X. Collilieux, 2009, Strengths and limitations of the ITRF : ITRF2005 and beyond, *Geodetic Reference Frames, IAG Symposium Munich, Germany, 9-14 October 2006, International Association of Geodesy Symposia, Vol.134, p. 73-79, Springer, doi:10.1007/978-3-642-00860-3_11*
- Collilieux, X., Z. Altamimi, 2009, Impact of the network effect on the origin and scale : Case study of Satellite Laser Ranging, *Observing our Changing Earth, Proceedings of the 2007 IAG General Assembly, Perugia, Italy, July 2 - 13, 2007, International Association of Geodesy Symposia, Vol.133, p. 31-37, Springer, doi:10.1007/978-3-540-85426-5_4*

Publications dans des Proceedings sans comité de lecture:

- Altamimi Z., D. Coulot, X. Collilieux, 2009, Status of the ITRF development and SLR contribution, *ILRS Workshop, Poznan, Poland, octobre 2008.*
- Altamimi Z. Reference Frames for Satellite Geodesy, *2nd International Galileo Colloquium, Padova, Italy, 14-16 Oct., 2009.*

3.1.4. Centre de combinaison

1. Analyses menées à l'Observatoire de Paris

1.1. Analyses en vue de participer à ITRF2008

L'appel à participation de la section ITRS fut pour notre groupe une bonne opportunité de mettre à profit notre expertise dans le domaine de traitements des données des diverses techniques ainsi que dans leurs combinaisons au niveau des équations normales. Nous avons traité deux ans de mesures (2007-2008). Les équations normales cumulées par semaine sans contraintes ont été transformées en format SINEX pour être fournies au centre ITRS.

Il apparût par la suite que deux ans n'étaient pas suffisants pour être considérées dans la réalisation de l'ITRF2008. Néanmoins des analyses et validations des équations normales ont été faites au centre ITRS. Ces analyses ont montré la bonne qualité des produits fournis.

Par ailleurs le software SINEX_Tool a été upgradé par Sylvain Loyer (CLS). Il permet maintenant de faire la transformation « aller-retour » entre le format SINEX et le format Equations normales « DYNAMO ».

1.2. Création d'un Working group dans le cadre de l'IERS

Actuellement on combine les informations sur la rotation de la terre et les systèmes de référence au niveau des équations normales pour les techniques GPS, SLR, VLBI et DORIS dans le cadre des services internationaux IGS, ILRS, IVS, IDS . Cependant la cohérence entre les produits dérivés par chaque technique n'est pas assurée. L'approche de combinaison inter-technique globale, devrait résoudre cette problématique. La combinaison finale des équations normales issues du traitement des diverses techniques devrait en tirer bénéfice en mettant en

évidences leurs erreurs systématiques plus aisées à mettre en évidence lorsqu'elles sont traitées au niveau des équations normales. Cependant comment assurer la stabilité d'une part de la combinaison des systèmes de référence terrestre et d'autre part améliorer les séries de rotation de la terre combinée ?

Afin de répondre à cette question et à divers aspects concernant ces combinaisons au niveau des équations normales, un Groupe de travail (Working Group on Combination at the Observation Level, COL-WG) a été créé au sein de l'IERS en 2009. La tâche principale est d'étudier les avantages de ces méthodes de combinaison par rapport aux méthodes courantes de combinaison de séries temporelles. Les co-responsables de ce Groupe de Travail sont R. Biancale et D. Gambis. La charte de ce groupe de travail est disponible au site du bureau Central de l'IERS (<http://www.iers.org>)

La première réunion de ce WG a eu lieu au cours du colloque IERS sur les Prédications de la rotation de la Terre à Varsovie en octobre 2009. Un plan de travail a été élaboré avec notamment le traitement pour les divers groupes impliqués le traitement des mesures de la campagne intensive « CONT08 » qui s'est déroulée en août 2008. L'équipe de l'observatoire de Paris est chargée de la validation des résultats.

1.3. Analyses menées au LAREG/IGN

Les travaux de thèse d'Arnaud Pollet (co-encadrés par N. Capitaine et D. Coulot) ont donné lieu à une présentation orale à l'IAG en septembre 2009 (un proceeding a été soumis) et à une présentation orale invitée au workshop IERS sur la combinaison et la prédiction des EOP en octobre 2009. Les résultats de l'année 2009 sont exposés dans la suite.

La prise en compte des pondérations optimales des techniques de géodésie spatiale dans une combinaison hebdomadaire au niveau des observations ainsi que la prise en compte des rattachements ont été étudiées.

En ce qui concerne la pondération des techniques, différents tests ont été réalisés, notamment en repondérant non plus par technique mais par satellite ou par session les différents types de mesures. Après étude des résultats, seul le cas du VLBI est intéressant. Autant repondérer le GPS, DORIS ou SLR par satellites n'a que peu d'intérêt, autant une repondération par session du VLBI semble fournir de meilleurs résultats, notamment en ce qui concerne le référencement de la technique au sein de la combinaison et l'estimation des EOP.

Concernant les rattachements, leur utilisation dans un calcul hebdomadaire est difficile.

Suite aux développements réalisés en 2008-2009, notamment en ce qui concerne le traitement GPS, avec l'estimation de plus de 150 stations, le nombre de rattachements utilisables dans la combinaison a sensiblement augmenté (d'un facteur deux à trois). L'impact des rattachements au niveau du référencement est ainsi beaucoup plus marqué et différentes approches ont été étudiées afin d'utiliser ceux-ci de manière adéquate. Une des premières conclusions de cette étude est que l'utilisation directe des rattachements (valeur et écart-type) fournis par le centre de combinaison de l'ITRF est problématique dans une combinaison hebdomadaire au niveau des observations. Une approche apportant de meilleurs résultats, notamment en terme de référencement, est de mettre des contraintes d'égalité entre les appoints des coordonnées de stations des sites colocalisés. Le point important est alors la pondération à appliquer à ces « rattachements ». L'estimation de poids optimaux par algorithmes génétiques sur une semaine test de calcul a souligné l'impact que peuvent avoir des sites colocalisés présentant des vitesses a priori divergentes. La plupart de ces rattachements ont en effet vu leur poids considérablement diminués.

Pour finir, de premiers tests sur l'utilisation des délais troposphériques zénithaux comme paramètres communs ont été réalisés. Les premières conclusions confirment les conclusions déjà tirées d'autres études, à savoir que l'utilisation de ces paramètres communs sur des sites pour lesquels les instruments présentent des différences d'altitude supérieures à 100-200m

détériorer les résultats. Inversement, pour des instruments colocalisés d'altitude similaire, il semblerait que les résultats en termes de positionnement s'améliorent. Ces résultats restent à confirmer sur une période de temps plus importante.

2. Participants

Pour le traitement et analyses des données des techniques de géodésie spatiale :

S. Loyer	CLS/Toulouse	(GPS)
L. Soudarin	CLS/Toulouse	(DORIS)
G. Bourda, P. Charlot	Observatoire de Bordeaux	(VLBI)
F. Deleflie, O. Laurain	OCA/Grasse	(SLR)
J. Ch. Marty	CNES/Toulouse	(LLR)
G. Francou	Observatoire de Paris	(LLR)

Combinaisons finales et analyses :

D. Gambis, J.Y Richard, C. Bizouard, T. Carlucci ,	SYRTE, Observatoire de Paris
R. Biancale et J.M. Lemoine	CNES/Toulouse
A. Pollet, D. Coulot, S. Nahmani	IGN/LAREG

3. Références bibliographiques

Publication soumise dans une revue à comité de lecture:

Gambis, D., Richard, J.Y.; Bourda G., Loyer, S., Soudarin, L. and F. Deleflie, 2009, Global combination of astro-geodetic techniques at the normal equations level. Contribution to ITRF2008 realization. Subm. to a special DORIS Issue of ASR.

Publications dans des Proceedings à comité de lecture:

Gambis, D., Biancale, R., Carlucci, T., Lemoine, J.M., Marty, J.C, Bourda G., Charlot, P., Loyer, S., Lalanne, L., Soudarin, L., 2009, Combination of Earth Orientation Parameters and terrestrial frame at the observation level, Springer Verlag series, Series International Association of Geodesy Symposia ,Vol. 134, Drewes (ed.), pp 3-9., DOI 10.1007/978-3-642-00860-3

Pollet A., D. Coulot & N. Capitaine, Combinaison of space-geodetic techniques at the measurement level, Proceedings de l'AG 2009, Buenos Aires, Argentine (en cours de révision)

Publications dans des Proceedings sans comité de lecture:

Coulot D., A. Pollet & Z. Altamimi, Influence of station referencing on the quality of EOP time series., Présentation invitée à l'IERS Workshop on EOP Combination and Prediction 1009, Varsovie, Pologne.

Richard J.Y. , D. Gambis, C. Bizouard, J.M. Lemoine, R. Biancale, S. Loyer, L. Soudarin, F. Deleflie, and G. Bourda, 2009, Global Combination of the Terrestrial Frame and Earth Orientation Parameters at the Observation Level. Contribution to ITRF2008 realization, Geophysical Research Abstracts, EGU2009-7024

Richard J.Y., Gambis D., 2009, Contribution of multi-technique combinations at the "observation level" to the realization of ITRF2008, AGU, San Francisco, Dec 14-18.

Richard J .Y, Gambis D., Bourda G., Loyer S., Soudarin L., Deleflie F., 2009, Global combination of astro-geodetic techniques at the normal equations level. Possible contribution to future ITRS realizations, *Eos Trans. AGU*, 90(52), Fall Meet. Suppl., Abstract G11C-0656

Richard J.Y. , D. Gambis, C. Bizouard, J.M. Lemoine, R. Biancale, S. Loyer, F. Deleflie, L. Soudarin, G. Bourda, 2009, Global Combination at the Terrestrial Frame and Earth Orientation Parameters at the Observation Level, Geophysical Research Abstracts, Vol.X, EGU2009.

3.1.5. Aspects théoriques

1. Méthodes d'optimisation globale pour la géodésie.

1.1. Bilan 2009

Réseaux Génétiquement Modifiés (RGM) SLR. L'article soumis au Journal of Geodesy en décembre 2008 a été révisé puis finalement accepté pour publication [1] (cf. partie « Références bibliographiques » ci-après). Les bons résultats obtenus (amélioration des WRMS des séries temporelles d'EOP) ont été confirmés pour d'autres solutions et ont été présentés dans des colloques et workshops.

RGM DORIS. L'étude a été poussée et menée sur la base de deux solutions différentes (LCA et IGN). Les premiers résultats sont moins « impressionnants » que dans le cas de la technique SLR (améliorations moindres des WRMS des séries temporelles d'EOP). Cette étude a été l'occasion d'utiliser un nouvel algorithme génétique plus rapide et de tester la minimisation de nouveaux objectifs. Les résultats obtenus sur ce dernier point sont encore à confirmer et certains résultats ont été présentés dans des colloques et workshops.

RGM VLBI. Des tests très préliminaires ont été effectués pour la technique VLBI. L'idée de mettre en place le pendant de ces RGM mais « côté repère céleste » (positions des radio-sources) a été évoquée et devrait être suivie d'effets en 2010.

Algorithmes Génétiques et combinaison de mesures spatiales. Un algorithme génétique a été utilisé pour mettre en place une pondération spécifique des rattachements locaux dans le cadre d'une combinaison multi-techniques de mesures spatiales. Les résultats obtenus sur une semaine test ont permis une qualification intéressante des rattachements impliqués et ont fait l'objet d'une présentation orale [6] et d'un acte à comité de lecture soumis en novembre 2009.

Colloque GECCO'09. D. Coulot a pu participer au colloque GECCO (Genetic and Evolutionary Computation Conference) à Montréal en juillet 2009, grâce au budget accordé à la proposition TOSCA liée à ces travaux. Un abstract [7] avait été soumis à cette occasion. Il a été rejeté, le quota d'abstracts acceptés étant déjà atteint pour la session en question. Ce colloque a été l'occasion de se familiariser à d'autres méthodes d'optimisation inspirées par la nature (premiers pas vers un inventaire et une classification des méthodes) et de découvrir les résultats les plus récents concernant ces méthodes et, en particulier, concernant leur application à des problèmes « à grande dimension » (ouverture de nouvelles perspectives de recherche à moyen terme).

1.2 Participants : D. Coulot, A. Pollet, X. Collilieux, I. Panet, E. Bernard (IGN/LAREG) et F. Deleflie (OCA/Géoazur – IMCCE depuis le 1^{er} février 2010).

1.3 Références bibliographiques

Publication dans des revues à comité de lecture

Coulot, D., A. Pollet, X. Collilieux, P. Berio (2010). Global optimization of core station networks for space geodesy: application to the referencing of the SLR EOP with respect to ITRF, Journal of Geodesy, 84(1): 31-50, DOI:10.1007/s00190-009-0342-1, published online on 10 september 2009.

Acte à comité de lecture

Pollet, A., D. Coulot, N. Capitaine (2009). Combination of Space Geodetic Techniques at the Measurement Level, in Proceedings of the IAG General Assembly, Buenos Aires, Argentina, 31 August – 4 September 2009, soumis en novembre 2009, en cours de révision.

Présentation orale invitée

Coulot, D., A. Pollet, Z. Altamimi (2009). Influence of station referencing on the quality of EOP time series, IERS Workshop on EOP Combination and Prediction, Warsaw, Poland, 19 - 21 October 2009.

Communications

Coulot, D., X. Collilieux, A. Pollet, P. Berio, M.L. Gobinddass, L. Soudarin, P. Willis, J.M. Lemoine, H. Capdeville (2009). Genetically Modified Networks: A Genetic Algorithm contribution to Space Geodesy. Application to the transformation of SLR and DORIS EOP time series into ITRF2005, poster, EGU General Assembly, Vienna, Austria, 19-24 April 2009.

Coulot, D., X. Collilieux, A. Pollet, F. Deleflie, M.L. Gobinddass, L. Soudarin, P. Willis, J.M. Lemoine, H. Capdeville (2009). Genetically Modified Networks: A Genetic Algorithm contribution to Space Geodesy. Application to the transformation of SLR and DORIS EOP time series into ITRF2005, poster, IAG General Assembly, Buenos Aires, Argentina, 31 August - 4 September 2009.

2. Comparaisons entre modèles et observations de la rotation de la Terre

2.1 Précession-nutation et libration de la Terre

Des analyses de la position du Pôle céleste intermédiaire (CIP) de la Terre dans l'ICRS, par comparaison, dans le domaine du temps, entre modèles et observations, ont permis d'évaluer très précisément : (1) (Capitaine et al. 2009) la supériorité du modèle analytique IAU 2006/2000 de précession-nutation sur un modèle numérique concurrent et (2) (Zerhouni et Capitaine 2009 ; cf. Chapitre 3.2.3) la potentialité des observations de télémétrie laser-Lune LLR (cf. chapitre 3.2.3) pour ce type de détermination.

Un modèle semi-analytique de la libration axiale de la Terre a été développé (Brzeziński et Capitaine 2009) pour représenter les variations semi-diurnes d'amplitudes supérieures à 0.005 mas, dues à l'effet du potentiel de marées sur la partie non-axisymétrique de la Terre (qui est exprimée par les termes non-zonaux du potentiel terrestre), pour un modèle de Terre élastique à noyau fluide. Ce modèle a été recommandé dans les Conventions IERS révisées en 2009, en cohérence avec le modèle déjà adopté pour les variations correspondantes dans le mouvement du pôle.

2.2 Participants : N. Capitaine, S. Lambert, W. Zerhouni (SYRTE, Observatoire de Paris), en coopération avec P.M. Mathews (U. Madras, Inde), V. Dehant (ORB, Belgique), A. Brzeziński (CSR, Varsovie, Pologne), P. Wallace (RAL, UK).

2.3 Références bibliographiques

Publications dans des revues à comité de lecture

Capitaine, N., Mathews, P.M., Dehant, V., Wallace P.T., Lambert, S.B., 2009, "On the IAU 2000/2006 precession-nutation and comparison with other models and VLBI observations", *Celest. Mech. & Dynamical Astronomy* 103, 2, 179-190.

Zerhouni, W., Capitaine, N., 2009, "Celestial pole offsets from lunar laser ranging and comparison with VLBI", *A&A* 507, 3, 1687-1695, DOI: 10.1051/0004-6361/200912644.

Publications dans des Actes à comité de lecture (voir chapitre 3.2.3 en complément)

Brzezinski, A., Capitaine, N., 2009, "Semidiurnal signal in UT1 due to the influence of tidal gravitation on the triaxial structure of the Earth", in *Highlights of Astronomy*, Volume 14, XXVIIth IAU General Assembly, August 2009, Ian F. Corbett ed.

Capitaine, N., 2009, "Models and nomenclature in Earth rotation", in "Relativity in Fundamental Astronomy", invited paper, Proceedings IAU Symposium No. 261, 2009, Virginia Beach, 27-30 April 2009, pp. 69-78.

Capitaine, N., 2009, "Recent progress in modeling precession-nutation and prospects for future improvements", invited paper, in *IAU Transactions*, Vol XXVIIB, Proc. 27th IAU General Assembly, August 2009, Ian F. Corbett, ed., in press.

Capitaine, N., 2009, "Nomenclature and numerical standards for IAU models and IERS Conventions for Earth rotation", in *Proc. Journées Systèmes de Référence 2008*, M. Soffel and N. Capitaine (ed.), Observatoire de Paris, pp. 46-49.

Capitaine, N., Wallace, P.T., 2009, "Implementation of the IAU 2000 definition of UT1 in astronomy", in *Highlights of Astronomy*, Volume 14, XXVIIth IAU General Assembly, August 2009, Ian F. Corbett ed., in press.

3.2.1. APPORT DES MESURES GÉODÉSIQUES : DORIS

1. Introduction

Les activités de recherche géodésique et géophysique liées au système DORIS sont menées au GRGS au sein du CNES et de l'IGN. Les groupes qui y participent ont chacun leurs propres objectifs de recherche. Ils contribuent activement à l'International DORIS Service (IDS, <http://ids-doris.org>) à la fois au niveau des Centres d'Analyses, mais aussi pour l'animation et l'organisation du service au sein du Bureau Central et du Governing Board. Ils apportent également leur expertise dans les groupes Performances et Missions DORIS du CNES.

2. GRGS/IGN

2.1. Cette recherche comporte 3 volets distincts :

- étude méthodologique : amélioration des performances géodésiques du système DORIS pour la géodésie (thèse Mare-Line Gobinddass) ;
- service scientifique : centre d'analyse IGN de l'International DORIS Service (IDS) ;
- valorisation scientifique des résultats : applications géophysiques (mise à disposition de Pascal Willis auprès de l'Institut de Physique du Globe de Paris).

De nouvelles études ont montré que certains résultats DORIS (géocentre, altitude des stations DORIS) pouvaient être améliorés en utilisant de nouveaux modèles de corrections de la pression de radiation obtenus en multipliant les modèles empiriques par un coefficient empirique dépendant du satellite. Ceci élimine des erreurs périodiques à 118 jours et 1 ans. Une deuxième étude a permis d'affiner l'intervalle de temps utilisé pour estimer le coefficient de frottement atmosphérique (1 à 2 heure semble un bon compromis pour les satellites les plus bas). Les résultats de ces études ont été repris par les autres centres d'analyse de l'IDS pour préparer leur contribution à l'ITRF2008. Enfin, une extension de l'ITRF2005 (DPOD2005) a été réalisée et est utilisée par les centres d'orbitographie des satellites altimétriques

Toutes ces améliorations de calculs ont été utilisées pour retraiter la totalité des mesures DORIS depuis janvier 1993 (solution ignwd08). L'IGN est actuellement le seul centre d'analyse à fournir la totalité des produits et à les fournir dans un délai de calcul de moins de 48 heures

Plusieurs stations ont été analysées plus en détail, en particulier: Antarctique, Terre Adélie (mouvements verticaux); Socorro Island (détection et interprétation de mouvements de nature volcanologique); Himalaya, Everest (interprétation de mouvements horizontaux saisonniers); Ny Alesund (mouvements verticaux). Un nouveau modèle de plaques tectoniques (GEODVEL) a été réalisé en conjonction avec des résultats GPS, VLBI et télémétrie Laser. Concernant les sciences de l'atmosphère, de premières comparaisons GPS/DORIS ont été réalisées pour la composante troposphérique zénithale. DORIS permet de mettre en évidence un saut dans la série GPS au moment du changement de méthode de calcul GPS. Enfin, une première étude sur les gradients troposphériques horizontaux (prenant en compte une possible anisotropie des couches basses de l'atmosphère) montre un bon accord entre les résultats indépendants GPS et DORIS. Elle indique aussi une amélioration minime dans les résultats géodésiques DORIS.

2.2. Participants au projet

Pascal Willis	IGN (mis à disposition auprès de l'IPGP)
Marie-Line Gobinddass	IGN (Doctorante 2007-2010)

3. GRGS/CNES-CLS

L'équipe Géodésie Spatiale du CNES et le groupe Géodésie Spatiale de CLS constituent le Centre d'Analyse DORIS CNES-CLS. Dans ce cadre, leurs activités consistent : à assurer le traitement routinier des données DORIS en vue d'une fourniture à l'IDS et à l'Observatoire de Paris dans le cadre des travaux sur la combinaison des techniques; à maintenir et améliorer les capacités du logiciel GINS pour le traitement des mesures DORIS ; à maintenir le modèle de correction de la fréquence de l'oscillateur DORIS à bord de Jason-1 au passage de la SAA (South Atlantic Anomaly) ; à réaliser des actions de support et de promotion du système DORIS du CNES.

3.1. Participation à l'IDS

Sous l'acronyme LCA (historiquement pour LEGOS-CLS Analysis center, et que l'on peut traduire aujourd'hui par L'autre Centre d'Analyse), le centre d'analyse CNES-CLS livre à l'IDS des solutions d'orbite, de coordonnées de stations et de paramètres de rotation de la Terre, ainsi que les séries temporelles de coordonnées des stations du réseau.

En 2009, le centre a fourni à l'IDS une série complète de solutions hebdomadaires (1993-2008) en vue de la préparation de l'ITRF2008. Trois versions ont été soumises à la suite d'itérations successives avec la Coordination des Analyses et le Centre de Combinaison de l'IDS. La série lcawd24 est celle qui a été retenue pour la solution combinée IDS-3, contribution de la technique DORIS à la réalisation ITRF2008.

Les traitements de routine suspendus pendant les travaux pour l'ITRF2008 ont été redémarrés en fin d'année. Les livraisons reprendront début 2010.

3.2. Participation aux travaux de combinaisons des techniques

Dans le cadre des travaux sur la combinaison des techniques menés par le Centre de Recherche en Combinaison (CRC) du GRGS, le centre d'analyse CNES-CLS livre à l'Observatoire de Paris des systèmes d'équations normales issus des traitements de routine. Ces matrices multi-satellites DORIS sont combinées avec celles des techniques GPS, SLR et VLBI fournies par les autres groupes GRGS impliqués dans l'expérience.

En 2009, une série de 2 ans de matrices (2007-2008) a été livrée dans l'objectif d'une contribution combinée multi-technique GRGS à l'ITRF2008.

Dans la continuité de sa participation au CRC du GRGS, le centre d'analyse participe depuis Octobre 2009 au groupe de travail « Combination at the Observation Level » (COL) de l'IERS.

3.3. Modèle SAA Jason-1

Les paramètres d'évolution (amplitude et effet mémoire) du modèle de correction SAA de l'instrument DORIS sur Jason-1 sont réévalués une fois par an. Ce modèle s'applique à la chaîne 1 qui est la chaîne actuellement en fonctionnement. Si nécessaire, les mises à jour sont diffusées à l'ensemble de la communauté DORIS via le site ftp de l'IDS (ftp://ftp.ids-doris.org/pub/ids/satellites/CORRECTIVE_MODEL_JASON1/).

Une nouvelle version a été fournie en 2009 mais uniquement pour tenir compte du changement d'orbite du satellite. Les calculs d'estimation des paramètres à partir des nouvelles mesures DORIS collectées en un an ont montré qu'il n'était pas nécessaire de modifier le modèle. Signalons que les mesures Jason-2 sont désormais prises en compte dans l'évaluation du modèle. La phase de vol en tandem de Jason-1 et Jason-2 (du 15/07/2008 au 21/01/2009) a également été mise à profit.

3.4. Participants au projet

Richard Biancale	CNES/GS
Hugues Capdeville	CLS
Bruno Garayt	IGN

Jean-Michel Lemoine	CNES/GS
Sylvain Loyer	CLS
Jean-Charles Marty	CNES/GS
Laurent Soudarin	CLS

4. Références bibliographiques

- Amalvict M., Willis P., Woppelmann G., Ivins E.R., Bouin M.N., Testut L., Hinderer J., 2009, Stability of the East Antarctic station Dumont d'Urville from long-term geodetic and geophysical observations, *Polar Research*, 28(2):193-202. doi:10.1111/j.1751-8369.2008.00091.x
- Argus D.F., Gordon R.G., Heflin M.B., Ma C., Eanes R., Willis P., Peltier W.R., Owen S., sous presse, The angular velocities of the plates and the velocity of Earth's Center from Space Geodesy, *Geophysical Journal International*. doi:10.1111/j.1365-246X.2009.04463.x
- Briole P., Willis P., Dubois J., Charade O., 2009, Potential volcanic applications of the DORIS system, A geodetic study of the Socorro Island (Mexico) coordinate time series, *Geophysical Journal International*, 178(1):581-590. doi:10.1111/j.1365-246X.2009.04087.x
- Flouzat M., Bettinelli P., Willis P., Avouac J.P., Heritier T., Gautam U., 2009, Investigating tropospheric effects and seasonal position variations in GPS and DORIS time series from the Nepal Himalaya, *Geophysical Journal International*, 178(3):1246-1259. doi:10.1111/j.1365-246X.2009.04252.x
- Gobinddass M.L., Willis P., de Viron O., Sibthorpe A.J., Zelensky N.P., Ries J.C., Ferland R., Bar-Sever Y.E., Diament M., 2009, Systematic biases in DORIS-derived geocenter time series related to solar radiation pressure mis-modeling, *Journal of Geodesy*, 83(9):849-858. doi:10.1007/s00190-009-0303-8
- Gobinddass M.L., Willis P., Sibthorpe A., Zelensky N.P., Lemoine F.G., Ries J.C., Ferland R., Bar-Sever Y.E., de Viron O., Diament M., 2009, Improving DORIS geocenter time series using an empirical rescaling of solar radiation pressure models, *Advances in Space Research*, 44(11):1279-1287. doi:10.1016/j.asr.2009.08.004
- Kierulf H.P., Pettersen B., McMillan D.S., Willis P., 2009, The kinematics of Ny-Alesund from space geodetic data, *Journal of Geodynamics*, 48(1):37-46. doi:10.1016/j.jog.2009.05.002
- Willis P., Ries J.C., Zelensky N.P., Soudarin L., Fagard H., Pavlis E.C., Lemoine F.G., 2009, DPOD2005 : Realization of a DORIS terrestrial reference frame for precise orbit determination, *Advances in Space Research*, 44(5):535-544. doi:10.1016/j.asr.2009.04.018
- Willis P., Boucher C., Fagard H., Garayt B., Gobinddass M.L., sous presse, Contributions of the French Institut Géographique National (IGN) to the International DORIS Service, *Advances in Space Research*. doi:10.1016/j.asr.2009.09.019
- Willis P., Fagard J., Ferrage P., Lemoine F.G., Noll C.E., Noomen R., Otten M., Ries J.C., Rothacher M., Soudarin L., Tavernier G., Valette J.J. (sous presse), The International DORIS Service, Steps toward maturity, *Advances in Space Research*, doi:10.1016/j.asr.2009.11.018

3.2.2. APPORT DES MESURES GEODESIQUES : TELEMETRIE LASER-SATELLITES

1. Introduction

Le Centre d'Analyse GRGS est un centre officiel d'Analyse de l'ILRS depuis septembre 2007, et joue un rôle très actif au sein de l'Analysis Working Group de l'ILRS. La participation à l'ILR permet de valoriser les traitements dans un cadre international, de participer à la mise à jour des standards. Les logiciels utilisés sont GINS/DYNAMO (CNES/GRGS), Matlo (OCA-IGN-LAREG/GRGS). L'ensemble de ses activités est rassemblé sur une page web dédiée.

Voir : <http://www-g.oca.eu/heberges/pnaf/flacss/fr/index.html>

2. Traitements opérationnels du centre d'Analyse

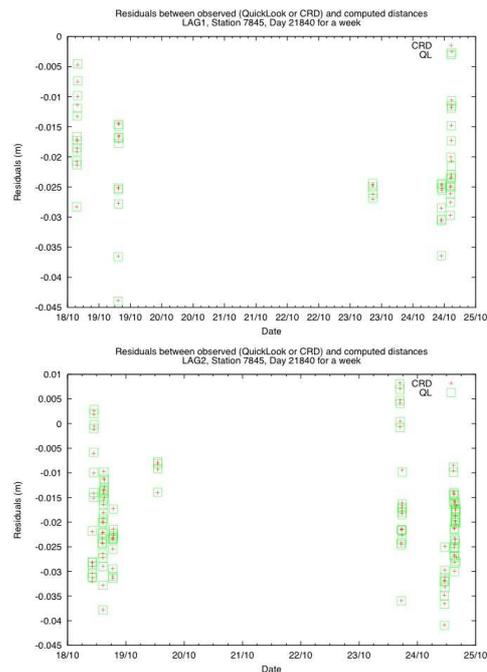
2.1. Traitements opérationnels et réanalyses pour l'ITRF2008

Calculs opérationnels en 2008-2009 :

- Contribution à la participation de l'ILRS à la réalisation de l'ITRF 2008 : réanalyse des données SLR sur l'ensemble de la période 1993-2008, à partir des orbites des satellites géodésiques, et des corrections aux données brutes établies par l'AWG de l'ILRS ; les résultats de la contribution du GRGS se mettent sous la forme de matrices normales hebdomadaires contenant les paramètres de rotation de la Terre, et les coordonnées des stations d'observation.
- Mise en place d'une automatisation des contributions hebdomadaires (à J+2) et journalières (à J+1) : séries temporelles de paramètres d'orientation de la Terre, positions de stations d'observation
- Mise en place d'une soumission automatique dans le cadre du centre de recherche sur les combinaisons GRGS, avec une modélisation légèrement différente que celle recommandée par les services internationaux (comprenant en particulier les effets de l'atmosphère).

2.2. Mise à niveau effectuées

- mise en place du nouveau format de données laser au sein de logiciels opérationnels (format CRD),
- documentation et implémentation de l'ensemble des corrections à prendre en compte lors des analyses,
- archivage rigoureux des résultats, gestion des versions de paramétrisation, au sein d'un Observatoire Virtuel (OV-GAFF),
- tests du nouveau format CRD dans les analyses, en coordination avec le Bureau central de l'ILRS et les Data Centers.



Analyse of differences between residual ranges, in millimetres :

```

Number of data points in "ecarts_residus_mm_LAG1_7845_21840_CRD-QL.dat" = 52
Arithmetic mean (average) = .043565903
Standard Deviation = 1.491423363
Median number (middle) = .030148500

Number of data points in "ecarts_residus_mm_LAG2_7845_21840_CRD-QL.dat" = 115
Arithmetic mean (average) = .113379347
Standard Deviation = 1.061603328
Median number (middle) = 0.112787

```

Fig 1 : Exemple de comparaison entre les données SLR au format QL et au format CRD

3. Activités de recherche

Les travaux de recherche en 2009, pas encore tous finalisés en 2010, concernent :

- l'établissement et l'analyse de séries temporelles de coefficients de champ de gravité, sur le long terme, en identifiant l'impact sur les résultats finaux des variations temporelles du champ de gravité,
- la prise en compte d'un modèle d'effets de charge dans les « produits » des analyses, les coordonnées de stations, et les paramètres du champ en particulier,
- l'analyse de l'impact des biais en distance sur l'échelle du repère, et plus généralement sur l'ensemble des « produits » issus des données SLR,
- l'évaluation de l'intérêt de méthodes basées sur les réseaux génétiquement modifiés,
- la réanalyse des données de la station laser ultra mobile sur l'ensemble des trois campagnes corses, 2002, 2005 et 2008.

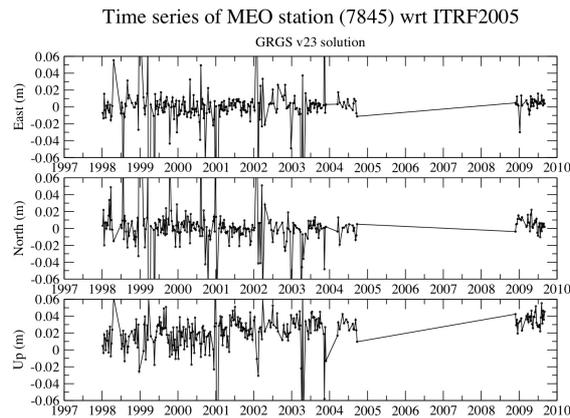


Fig2. : Ecart des coordonnées de la station laser de Grasse par rapport à l'ITRF2005

4. Participants au projet

Florent Deleflie, Olivier Laurain, Dominique Feraudy, Bertrand de Saint-Jean, Pascal Bonnefond, Pierre Exertier, David Coulot

5. Références bibliographiques

- F. Deleflie, D. Coulot, P. Bonnefond, Olivier Laurain, Pierre Exertier, Bertrand de Saint-Jean, et l'équipe des observateurs, *Analyse des données de la station laser mobile de la campagne Corse en 2008*, Colloque du GdR G2 2009, Strasbourg
- D. Coulot, A. Pollet, X. Collilieux, F. Deleflie, M.L. Gobinddass, L. Soudarin, P. Willis, *Genetically Modified Networks: A Genetic Algorithm contribution to Space Geodesy. Application to the transformation of SLR and DORIS EOP time series into ITRF2005*, IAG 2009
- F. Deleflie, D. Coulot, B. deSaintJean, J.-M. Lemoine, P. Exertier and O. Laurain, Workshop laser 2009, Mertsovo, septembre 2009, *Two approaches to build time series of EOP from SLR data*
- F. Deleflie, D. Coulot, P. Exertier, O. Laurain, and D. Feraudy, *Past, current, and future research and operational activities of the GRGS ILRS Analysis Center*, Poster EGU 2009
- F. Deleflie, S. Lambert, X. Collilieux, J. Berthier, C. Barache, D. Coulot, A.-M. Gontier, and P. Exertier, *Why choosing the Virtual Observatory in Geodesy and Earth's Sciences?*, Poster EGU 2009
- D. Gambis, J.Y. Richard, G. Bourda, S. Loyer, L. Soudarin, F. Deleflie, *Global combination of astro-geodetic techniques at the normal equations level. Contribution to ITRF2008 realization*, Soumis Adv. Space Res. 2009
- Florent Deleflie, Sébastien Lambert, Jérôme Berthier, Xavier Collilieux, Christophe Barache, Anne-Marie Gontier, et al., *Assemblée Générale ASOV : Actions 2008-2009, Groupe Géodésie et Astronomie Fondamentale*.
- Deleflie F. and D. Coulot, *Le Repère de Référence par laser*, Journées SF2A, Besançon, 2009
- Exertier, P. *Projet T2L2, Point sur le Traitement des Données*, SF2A, Besançon, 2009
- Richard, J-Y, D.Gambis, G. Bourda, S. Loyer, L. Soudarin, and F. Deleflie, *Global combination of astro-geodetic techniques at the normal equations level. Possible contribution to future ITRS realizations*, FM AGU 2009
- Coulot D., Ph. Bério, P. Bonnefond, P. Exertier, Dominique Féraudy, O. Laurain, Florent Deleflie, *Satellite Laser Ranging biases and Terrestrial Reference Frame scale factor*, Observing our Changing Earth, Proceedings of the 2007 IAG General Assembly, Perugia, Italy, July 2 - 13, 2007, vol. 133, page 39--46, Springer, IAG, 2009

3.2.3. APPORT DES MESURES GÉODÉSIQUES : TELEMETRIE LASER- LUNE

1. Introduction

L'exploitation des observations « Lunar Laser Ranging » (*LLR*) réalisée en 2009 au *SYRTE* (Observatoire de Paris) a surtout été marquée par l'achèvement de la thèse de Wassila Zerhouni sous la direction de Nicole Capitaine : "Systèmes de référence et rotation de la Terre : apport de la télémétrie laser sur la Lune" (soutenue en janvier 2010). En voici le résumé.

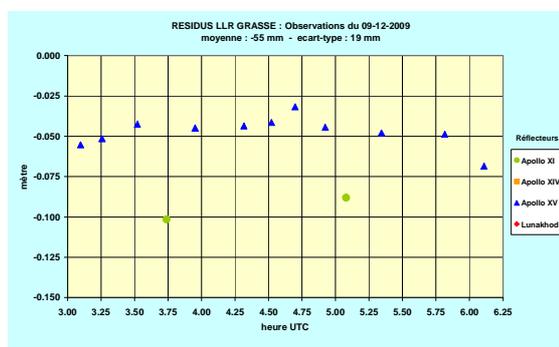
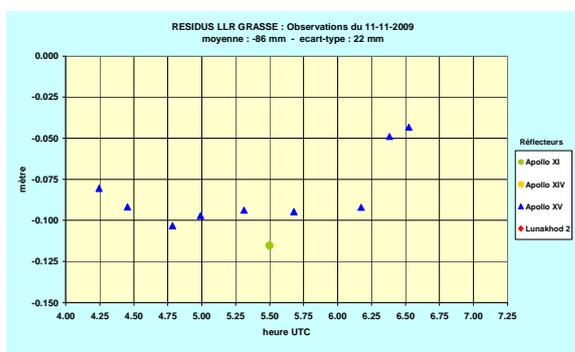
Grâce à la détermination précise de l'orbite lunaire, le *LLR* est la seule technique qui permet de réaliser un système de référence céleste dynamique stable. En se basant sur ce système de référence, ainsi que sur la méthodologie adoptée par Chapront et al. 2002, nous avons dans une première étape, réalisé le raccordement entre le système de référence défini par le *LLR* et l'*ICRS* (International Celestial Reference System). Ce calcul a permis de déterminer, avec une exactitude de l'ordre d'une milliarcseconde, les paramètres d'orientation du système de référence dynamique à *J2000.0* par rapport à l'*ICRS*. Dans une deuxième étape, nous avons calculé les coordonnées du pôle céleste en utilisant les données *LLR*. Le principal intérêt de ce calcul est l'obtention, pour la première fois, d'une série temporelle des écarts au pôle céleste déterminée avec une autre technique que le *VLBI*. Afin d'évaluer la qualité de cette série ainsi que l'apport du *LLR* dans ce domaine, nous avons déterminé des termes de nutation à différentes périodes, ainsi qu'un terme séculaire et un terme constant, dans les séries *LLR* et *VLBI*. Cette étude a permis de caractériser le signal contenu dans chaque série et a estimé la précision qui pouvait être atteinte pour diverses composantes du déplacement du *CIP* (Celestial Intermediate Pole) dû à la Précession-Nutation. Dans une dernière étape, nous avons combiné les séries temporelles des écarts au pôle céleste issues du *LLR* et du *VLBI*. L'intérêt de cette combinaison est la complémentarité des deux séries : une étant plus précise (*VLBI*) et l'autre étant plus longue (*LLR*). La série combinée a complété la série *VLBI* et a révélé la présence d'un signal qui n'apparaissait pas dans la série *VLBI* seule.

Parallèlement à ce travail, un certain nombre d'études ont été réalisées. En particulier, nous avons employé d'autres sources d'éphémérides lunaires que celles utilisées habituellement pour analyser les données *LLR* au centre *POLAC* (Paris Observatory Lunar Analysis Center, *ILRS*). La solution *ELP* (Chapront-Touzé, Chapront) a été remplacée par des intégrations numériques récentes, *DE421* (*JPL*) et *INPOP08A* (*IMCCE*). Après avoir adapté le programme *CAROLL* à ces nouvelles sources, voici les r.m.s. des résidus obtenus avec les observations de Grasse (*OCA*) et de McDonald (Texas) sur la période 1987-2006.

Stations LLR	Obs.	ELP	DE421	INPOP08A
Grasse 1987-2005	8357	5.2 cm	6.5 cm	7.0 cm
McDonald 1987-2006	3413	9.0 cm	10.0 cm	10.3 cm

La forme semi-analytique de *ELP* a l'avantage de permettre l'ajustement des paramètres de la Lune (révolution et rotation) aux observations *LLR* ainsi que le positionnement du système de référence dynamique, alors que seules les positions des stations et des réflecteurs *LLR* sont ajustées dans l'utilisation des intégrations numériques.

En 2009, la station de McDonald a fourni 69 points normaux qui sont en partie altérés par des problèmes liés à l'instrument (détecteurs), l'exploitation des données Apollo (Nouveau Mexique) n'est pas encore pleinement opérationnelle (non référencées dans la base de données *ILRS*) et la nouvelle station *MEO* de Grasse a réalisé ses premiers tirs sur les réflecteurs lunaires fin 2009 après cinq années d'arrêt de l'ancienne station pour rénovation. Voici, ci-dessous, les premiers résidus obtenus au centre *POLAC* avec les observations des deux nuits d'observation de 2009 à Grasse. Lorsque nous disposerons de suffisamment d'observations *LLR* fournies par Grasse en 2010, nous pourrons les regrouper avec celles de la période 1984-2005 et effectuer un ajustement complet des paramètres (paramètres de la Lune, angles d'orientation du repère, positions des réflecteurs et des stations).



2. Participants au projet

Sébastien Bouquillon (astronome adjoint), Nicole Capitaine (astronome), Gérard Francou (astronome adjoint), Wassila Zerhouni (Doctorante 2006-2009), *SYRTE* (Observatoire de Paris), *CNRS-UMR-8630, UPMC, ILRS-POLAC*.

3. Références bibliographiques

Zerhouni, Z., Capitaine, N., 2009, Celestial pole offsets from lunar laser ranging and comparison with VLBI, *A&A* 507, 1687-1695.

Zerhouni, Z., Capitaine, N., 2009, The combination of LLR and VLBI celestial pole offsets, présentation orale à l'IERS Workshop 19-21 Octobre 2009.

Zerhouni, Z., Bouquillon, S., Francou, G., Manche, H., Rambaux, N., Les applications de la télémétrie laser au système Terre-Lune, présentation orale lors de la séance scientifique du GRGS associée à l'inauguration de la station laser MEO, Grasse, 15 avril 2009.

Zerhouni, Z., Capitaine, N., Francou, G., 2009, What could bring LLR observations in determining the position of the celestial pole, Proceedings of the "Journées 2008 Systèmes de référence spatio-temporels", M. Soffel and N. Capitaine (eds.), Lohrmann-Observatorium and Observatoire de Paris., pp. 186-189.

Zerhouni, Z., Capitaine, N., Francou, G., 2009, Determination of the corrections to the celestial pole coordinates using LLR observations, SF2A-2008: Proceedings of the Annual meeting of the French Society of Astronomy and Astrophysics Eds.: C. Charbonnel, F. Combes and R. Samadi. Available online at <http://proc.sf2a.asso.fr>, p.153.

3.2.4. APPORT DES MESURES GÉODÉSIQUES : GNSS

1. Introduction

L'essentiel des activités GNSS du GRGS s'intègre dans le cadre du projet « outils et traitements des données GNSS pour les géosciences » dont les objectifs scientifiques sont de :

- participer au service international IGS en tant que Centre d'Analyse (CA)
- contribuer à des projets scientifiques mettant en œuvre des données de campagnes GNSS au travers de collaborations avec d'autres laboratoires et en proposant le logiciel GINS à de nouveaux utilisateurs
- se préparer au traitement des données hybrides GPS-Galileo en exploitant les données hybrides GPS-GLONASS pour valider les capacités multi-GNSS de GINS

Les activités réalisées en 2009 dans ce cadre sont synthétisées ci-après.

2. Traitements pour l'IGS et l'expérience COL/IERS

Dans le cadre de ses activités de centre d'analyse de l'IGS, le CNES en partenariat avec CLS fournit les produits hebdomadaires « finaux » (J+11) incluant les fichiers « orbite » et « horloge » de la constellation GPS ainsi que les fichiers SINEX (coordonnées des stations, paramètres d'orientation de la Terre). Ces équations normales sont aussi transmises à l'Observatoire de Paris pour combinaison dans le cadre de l'expérience COL (Combination at the Observation Level) de l'IGS. Le fait marquant de l'année restera l'implémentation de la méthode novatrice de résolution des ambiguïtés des mesures de phase GPS non différenciées. La figure 1 montre l'impact de cette nouvelle stratégie sur les produits d'orbites au travers de la comparaison de la cohérence (WRMS3D) avec la solution combinée de l'IGS. Ce gain sensible de précision nous a permis :

- d'atteindre le niveau des autres CA
- de promouvoir cette nouvelle stratégie au sein des CA qui l'ont pour certains d'ores et déjà adoptée. Nous mentionnerons que Denis Laurichesse et ses co-auteurs du CNES qui ont breveté cette technique, ont reçu un prix de l'Institut Of Navigation (ION)
- d'ouvrir la voie au mode de Positionnement Ponctuel Précis (PPP) avec ambiguïtés fixées avec toutes les potentialités que cela représente pour de nombreuses applications.

Ces travaux ont fait l'objet de 2 présentations dans des colloques (Loyer et al. 2009a, Loyer et al. 2009b).

D'autre part, la volonté de promouvoir les activités de CA de l'IGS s'est exprimée au travers du site Internet <http://igsac-cnes.cls.fr> qui a été sensiblement enrichi notamment d'une documentation technique (logiciel, cours, publications,...) accessible en ligne ainsi que d'un menu permettant d'accéder aux graphiques mis à jour d'évaluation de nos différents produits.

CNES-CLS IGS Orbit Quality Evaluation

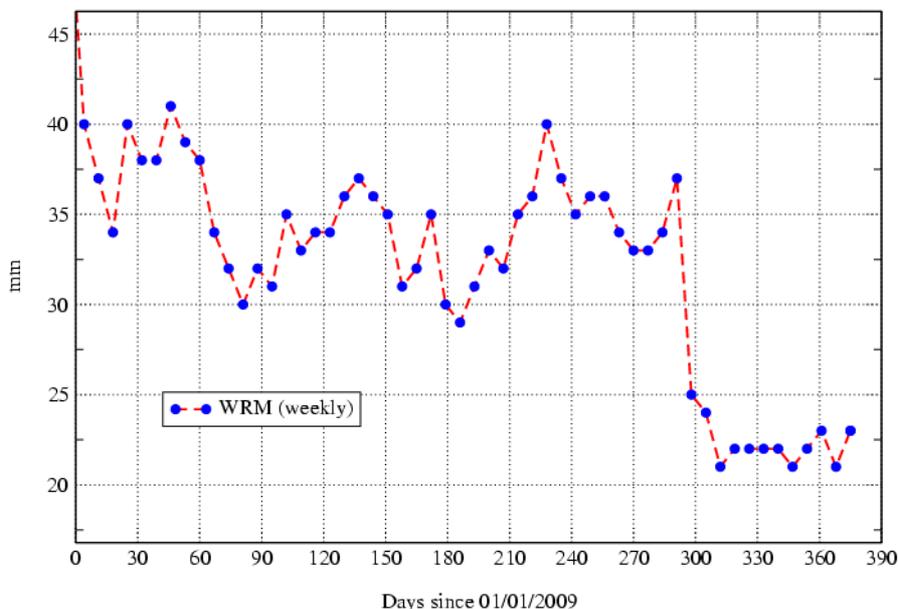


Fig 1 : Cohérence avec « l'orbite précise de l'IGS » des produits d'orbites hebdomadaires de la constellation GPS depuis le 1^{er} janvier 2009. Le RMS pondéré dans les 3 directions (3DWRMS) est passé en moyenne de 35 à 22 mm suite à l'implémentation dans la chaîne opérationnelle de la méthode de fixation des ambiguïtés entières non différentiées début novembre 2009.

3. Projets et collaborations scientifiques

Le logiciel GINS est aujourd'hui aussi performant pour le traitement de données GPS que ses « concurrents » internationaux. Le GRGS encourage les collaborations scientifiques autour de projets basés sur l'exploitation de données GPS afin de :

- promouvoir l'utilisation du logiciel GINS
- proposer un soutien au travers d'une expertise dans les traitements
- améliorer le logiciel GINS par des comparaisons à d'autres outils et par des développements pour répondre à des besoins spécifiques
- être associé aux résultats scientifiques au travers notamment des publications.

3.1. Projet DRAKE (Stavros Melachroinos CNES/LEGOS)

La mission consistait à mesurer la hauteur instantanée de la mer, sous des traces du satellite Jason2 à l'aide de récepteurs GPS, d'un altimètre radar et d'un gravimètre, afin d'extraire un profil de la surface dynamique du courant circumpolaire antarctique dans la zone du passage de Drake. Le post-doc CNES de Stavros Melachroinos s'est poursuivi en 2009 et achevé au mois d'octobre. La capacité de traitement en mode PPP dynamique était une évolution stratégique du logiciel GINS et un besoin pour la campagne DRAKE (stations GPS fixes et mobiles distantes de plusieurs centaines de km la plupart du temps). Cette fonctionnalité a été développée et validée dans le cadre de cette coopération CNES/LEGOS. De plus une méthode novatrice d'hybridation des données des gyroscopes (attitude du bateau) et des données GPS a été brevetée par Stavros Melachroinos. Cette technique permet de corriger a priori les données brutes (RINEX) GPS des mouvements d'attitude du récepteur et a fait l'objet du développement du logiciel RNXATTCOR dans le cadre du stage CNES de Mayaba Tchalla (Tchalla 2009). Ces travaux seront poursuivis en 2010 par François Fund.

3.2. Projet CRACICE (Benoit Legresy CNRS/LEGOS)

Dans le cadre de la thèse de Lydie Lescarmontier (CNRS/LEGOS) les travaux de comparaison des différentes stratégies de traitement et de différents logiciels (dont GINS) ont été poursuivis. L'intérêt et les performances de GINS pour le suivi à haute fréquence temporelle des mouvements du glacier Mertz ont été démontrés et présentés dans un colloque international (Lescarmontier et al. 2009a). Des fréquences spécifiques de vibrations verticales de la langue de glace ont en particulier été mises en évidence (Lescarmontier et al. 2009b) et devraient faire l'objet d'une publication prochaine.

3.3. Projet RESPYR (Alexis Rigo CNRS/DTP)

L'objectif de ce projet est d'étudier la géodynamique des Pyrénées à partir du champ de vitesses obtenu par GPS. L'équipe L2G de l'ESGT qui maîtrise l'utilisation des logiciels géodésiques Bernese, GAMIT et GIPSY s'est de plus dotée du logiciel GINS et s'est impliquée dans ce projet. Les travaux se sont focalisés sur la comparaison des stratégies et des performances de ces différents logiciels ainsi que sur l'impact des phénomènes de charge sur la mesure des champs de vitesses. Deux stages GRGS ont contribué à ces études (Le Bliguet 2009; Soubret 2009) dont les résultats ont fait l'objet de présentations dans des colloques internationaux (Chenel et al., 2009; Nicolas et al. 2009). Les phénomènes de charges atmosphériques ont été identifiés comme des sources potentielles d'erreurs importantes de mesures de champs de vitesses dans le cas de campagnes ponctuelles épisodiques comme RESPYR et seront la cible de nouvelles études en 2010.

3.4. Projet Bassin hydrographique de l'Amazone (Stéphane Calmant LEGOS/IRD)

Les données GPS des récepteurs permanents et de campagnes acquises dans le bassin Amazonien permettent :

- de faire le nivellement et le rattachement à un même système de référence des différentes stations limnigraphiques de mesure de hauteur des fleuves
- d'observer les déformations de charge hydrologique
- de réaliser des opérations de CAL/VAL d'altimètres spatiaux sur les fleuves

Daniel Moreira (CPRM, Brésil) a réalisé son stage de Mastère sur ces thématiques et devrait poursuivre ses travaux en 2010 dans le cadre d'une thèse. Des premiers résultats indiquent une corrélation forte entre le déplacement observé par GPS avec le logiciel GINS et le niveau du fleuve (figure 2) et ont fait l'objet d'une communication à l'AGU 2009 (Moreira et al., 2009).

3.5. Modélisation et observations des effets des surcharges sur la position des sites GPS (Pascal Gégout DTP/CNRS)

Ces travaux poursuivis en 2009 ont permis de confirmer la nécessité d'appréhender l'ensemble des phénomènes de déformation simultanément et à une échelle globale. Les effets de charge ont pu être observés pour 2/3 des stations, ces effets étant marqués par la propagation troposphérique pour le tiers restant. Ces résultats ont fait l'objet de 2 présentations lors de colloques (Gégout et al. 2009a ; Gégout et al. 2009b).

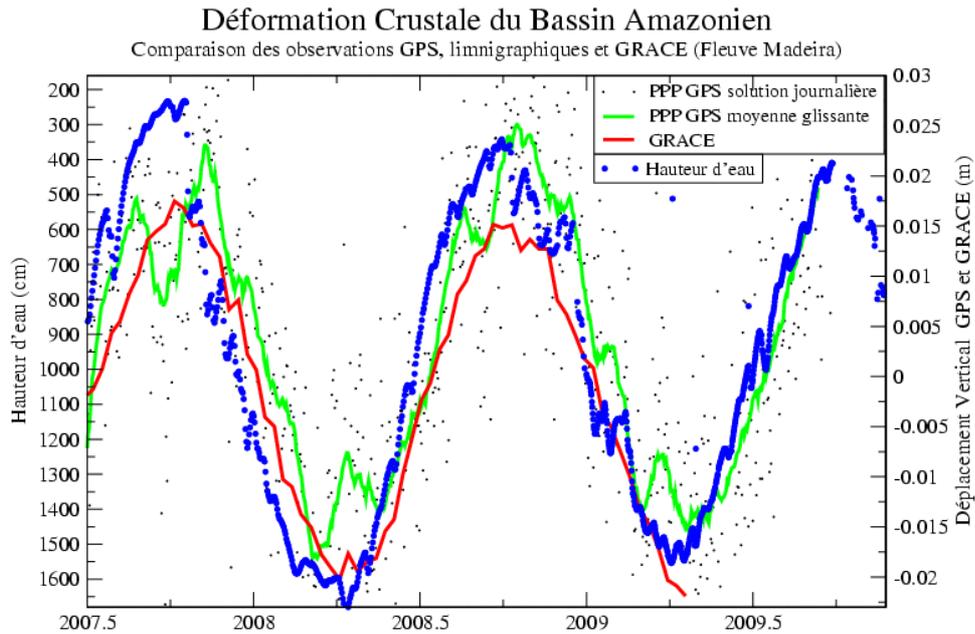


Fig 2 : Comparaison des déplacements verticaux d'une station GPS sur les rives du fleuve Madeira avec la mesure de hauteur d'eau. La déformation théorique déduite du modèle de champ de gravité variable du GRGS est aussi représentée.

3.6. Calcul d'orbite multi-constellation

Le stage CNES de Thomas Junique (Junique, 2009) a permis d'améliorer sensiblement le traitement avec GINS des données GLONASS en terme d'automatisation (génération des bulletins des satellites, prétraitement des mesures, gestion de l'état de la constellation,...) et de performance (précision de quelques décimètres). De plus, les tests d'hybridation de données GPS et GLONASS pour une restitution d'orbite commune ont mis en évidence des biais inter systèmes propres à chaque satellite GLONASS. Ces travaux seront poursuivis en 2010.

4. Participants au projet

- Richard Biancale (CNES/GRGS)
- Hugues Capdeville (CLS)
- Stéphane Durand (L2G/GRGS)
- François Fund (Thèse L2G/GRGS)
- Pascal Gégout (DTP/CNRS)
- Thomas Junique (Stage CNES/GRGS)
- Gwennael Lebliguet (Stage DTP/L2G)
- Benoit Legrésy (LEGOS/CNRS)
- Lydie Lescarmontier (Thèse CNRS-LEGOS)
- Sylvain Loyer (CLS)
- Laurent Morel (L2G/GRGS)
- Jean-Charles Marty (CNES/GRGS)
- Satvros Melachroinos (CNES/LEGOS)
- Flavien Mercier (CNES)
- Daniel Moreira (CPRM, Brésil)
- Joelle Nicolas (L2G/GRGS)
- Félix Perosanz (CNES/GRGS)

Thomas Soubret (Stage L2G)

Laurent Soudarin (CLS)

5. Références bibliographiques

- Chenel F., G. Le Bliguet, T. Soubret, A. Rigo, P. Vernant, F. Perosanz, S. Durand, L. Morel and J. Nicolas, First results of the 2008 RESPYR GPS Campaign in the Pyrenees, EGU General Assembly, 2009.
- Chenel F., Le Bliguet G., Soubret T., Rigo A., Vernant P., Perosanz F., Durand S., Fund F., Morel L., and Nicolas J., Quantifying the present-day deformation of the Pyrenees with GPS measurements: combination of multi strategies and processing softwares, IAG 2009 Scientific Assembly "Geodesy for Planet Earth", poster PS3-We28(137), Buenos Aires, Argentine, August 31 - September 4, 2009
- Gegout, P., Boy, J.-P., Hinderer, J & Ferhat, G., Modeling and Observation of Loading Contribution to Time-Variable GPS Sites Positions, Proceedings of the International Symposium of Gravity, Geoid and Earth Observation GGEO 2008, IAG, Chania, Crete, Greece, accepté en 2009.
- Gegout, P., Perosanz, F., Boy, J.-P., Hinderer, J & Ferhat, G., Oral presentation, Modeling and Observation of Loading Contribution to Time-Variable GPS site positions, EGU General Assembly 2009, Vienna, April 2009.
- Le Bliguet G., Mesure des déformations des Pyrénées par campagnes GPS: élaboration d'une stratégie de traitement avec le logiciel GINS et impact des effets de surcharges. ESGT 2009.
- Lescarmontier, L., B. Legrésy, R. Coleman, F. Perosanz, G. Autret and L. Testut. 2009. Precise GPS processing to investigate the Mertz glacier ice tongue oscillations at sub daily scales. Poster presentation. IGS symposium, Newcastle July 2009.
- Lescarmontier, L., B. Legrésy, R. Coleman, N. Young, F. Perosanz, G. Autret, L. Testut. 2009 Mertz glacier : Rifting, calving process and vibrations of an ice-tongue. ACE-symposium, Hobart, Tasmania.
- Loyer S., F. Perosanz , H. Capdeville , and L. Soudarin, CNES-CLS IGS Analysis Center Activities, , EGU General Assembly 2009, Vienna, April 2009.
- Loyer. S, Perosanz. F, Mercier. F, Capdeville. H, Soudarin. L, CNES-CLS IGS Analysis Centre products: evaluation and recent improvements. AGU Fall meeting, 14-18 décembre 2009, San Francisco, USA.
- Moreira D.M., Calmant S., Perosanz F., Souza A., Melachroinos S., Rotunno O., Monteiro A., GPS measurements applied to the leveling of hydrological stations in the Amazon basin. AGU Fall meeting, 14-18 décembre 2009, San Francisco, USA.
- Nicolas, J., F. Perosanz, A. Rigo, G. Le Bliguet, L. Morel, F. Fund (2009c), Impact of Loading Phenomena on Velocity Field Computation from GPS Campaigns: Application to the ResPyr GPS Campaign in the Pyrenees, poster, Geodesy for Planet Earth, IAG Scientific Assembly, Buenos Aires, Argentine, 2009.
- Soubret T., Le traitement des données GPS des campagnes ResPyr. ESGT 2009.
- Tchalla M., Developing precise kinematic GPS for off-shore calibration-validation dedicated to satellite altimetry and oceanography. Mémoire de fin d'études, CNES 2009

3.2.5. APPORTS DES MESURES GÉODÉSIQUES : VLBI

1. Introduction

Les activités du groupe d'analyse VLBI astro-géodésique se sont poursuivies dans le domaine de l'analyse opérationnelle et de la diffusion des résultats. D'autre part en 2009, les efforts ont portés sur l'élaboration de la seconde réalisation de l'ICRF (International Celestial Reference Frame) qui a été adoptée par l'UAI (Union Astronomique Internationale) à Rio de Janeiro au mois d'août.

2. Analyse des observations et diffusion des résultats

2.1. Solutions opérationnelles

L'analyse opérationnelle des observations VLBI des sessions intensives et de 24h pour la détermination des paramètres d'orientation terrestre, les positions et vitesses des stations et les coordonnées des radiosources s'est poursuivie en 2009. Les équations normales non-contraintes des sessions de 24h sont régulièrement envoyées au coordinateur des analyses de l'IVS (International VLBI Service for Geodesy and Astrometry) pour être combinés. Les résultats des solutions trimestrielles sont soumis à l'IVS et à l'IERS EOP-PC. Fin 2009, une solution opérationnelle intensive a aussi été soumise à l'IVS avec les fichiers SINEX correspondants.

Les séries temporelles de coordonnées de radiosources et de stations mises à jour tous les trois mois sont disponibles sur le site web du centre d'analyse IVS OPAR (<http://ivsopar.obspm.fr>).

2.2. Contribution à l'Observatoire Virtuel

Les efforts pour mettre à disposition nos données et nos résultats d'analyse au format de l'Observatoire Virtuel (OV) se sont poursuivis (<http://ivsopar.obspm.fr/vo>). Nous avons notamment développé une interface entre le site web du centre d'analyse IVS OPAR et un certain nombre de base de données astronomiques ou astrométriques (par exemple : NASA/NED, CDS, la base de données MOJAVE de l'université de Purdue, la base d'image VLBI de Bordeaux : BVID, ...). Le visiteur a ainsi un accès direct aux informations et aux données concernant les radio sources observées en VLBI.

3. Les repères de référence céleste

En 2009, nous avons activement participé au groupe de travail IVS/IERS pour la seconde génération de l'ICRF, dénommé ICRF2. Nous avons produits plusieurs catalogues et séries temporelles de coordonnées de radio sources pour tester différentes stratégies d'analyses. Nous avons menés des comparaisons de catalogues et de séries temporelles qui ont contribué à la détermination de la stratégie d'analyse utilisée pour élaborer l'ICRF2.

Lors de la phase d'élaboration de l'ICRF2, nous avons plus particulièrement participé à la sélection des 295 sources de définition (Fig. 1) sur la base des séries temporelles de coordonnées des radio sources et des indices de structure produit à l'Observatoire de Bordeaux. Nous avons étudié et réalisé l'alignement du repère de l'ICRF2 sur l'ICRS (International Celestial Reference System) en collaboration avec les membres de l'ICRS-PC.

Le détail des analyses et leurs résultats sont disponibles dans la note technique N°35 de l'IERS (Fey et al. 2009).

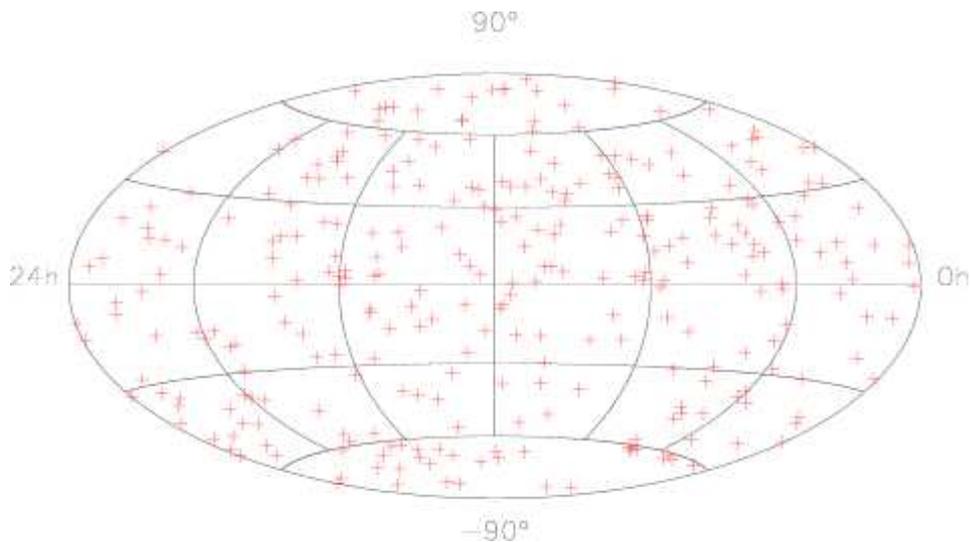


Fig 1 : Distribution des sources de définition de l'ICRF2.

Nous avons compilé une table des caractéristiques physiques pour les sources de définition. Elle comporte, lorsqu'ils sont connus, le type d'objet, le redshift, le flux à 8.4 et 2.3 GHz, l'indice spectral, la magnitude visuelle et des commentaires.

4. Participants au projet

C. Barache	OP/SYRTE
A.-M. Gontier	OP/SYRTE
S. Lambert	OP/SYRTE

5. Références bibliographiques

- N. Capitaine et al., 2009, On the IAU 2000/2006 precession-nutation and comparison with other models and VLBI observations, *Celest. Mech. Dyn. Astr.*, 103, 179.
- A.-M. Gontier et al., 2009, Paris Observatory Analysis Center OPAR: Report on Activities, January - December 2009, in: *International VLBI Service for Geodesy and Astrometry 2009 Annual Report*, edited by D. Behrend and K. D. Baver, NASA/TP-2010-, sous presse.
- A.-M. Gontier et al., 2009, VLBI at OPAR: analysis service and research, In: G. Bourda et al. (Eds.), *19th European VLBI for Geodesy and Astrometry (EVGA) Working Meeting Proc.*, 177.
- S. Lambert, A.-M. Gontier, 2009, On radio source selection to define a stable celestial frame, *A&A*, 493, 317.
- S.B. Lambert, A.-M. Gontier, 2009, On radio source selection and frame stability, In: G. Bourda et al. (Eds.), *19th European VLBI for Geodesy and Astrometry (EVGA) Working Meeting Proc.*, 27.
- S. Lambert & C. Le Poncin-Lafitte, 2009, Determining the relativistic parameter γ using very long baseline interferometry, *A&A*, 499, 331.
- S. Rosat & S. Lambert, 2009, FCN resonance parameters from VLBI and superconducting gravimeter data, *A&A*, 503, 287.

3.2.6. APPORT DES MESURES GÉODÉSIQUES : MAREGRAPHIE

1. Introduction

Cette année le rapport distingue les activités d'observatoire du niveau de la mer, qui se retrouvent dans la section 1.3 et rapportent de l'évolution de l'infrastructure des systèmes d'observation et des questions de métrologie du niveau de la mer *in situ* à la côte, des activités de recherche en relation avec les systèmes de référence et leurs applications. La relation historique entre marégraphie et géodésie est rappelée dans un article du numéro thématique « La Terre observée depuis l'espace » du journal *C.R. Geoscience* (Wöppelmann et al. 2006). La marégraphie manque de visibilité scientifique en partie en raison de définitions réductrices aux techniques de mesure ou à la marée. Ainsi, la définition proposée par B. Simon¹ (« Par son étymologie, le terme marégraphie se rapporte à la description du phénomène de marée et aux instruments qui, par leurs mesures, en ont permis une meilleure connaissance ») est étendue² à la description des autres phénomènes (pas seulement la marée) qui affectent le niveau de la mer et qui sont effectivement observés par les marégraphes. Elle est légitimée de fait par les nombreuses applications qui expliquent le regain d'intérêt pour les marégraphes depuis une vingtaine d'années (ondes de tempêtes, tsunamis, variations climatiques,...).

2. Courte synthèse des travaux en 2009

Les principaux résultats obtenus en 2009 dans la problématique de la détermination des mouvements verticaux des marégraphes et la compréhension de l'évolution du niveau de la mer enregistrée par ces instruments depuis parfois plus de cent ans sont résumés ainsi :

- Publication d'un champ de vitesses verticales issu de l'analyse en réseau global de mesures GPS sur 10 ans (1997-2006) en co-localisation avec des marégraphes (Wöppelmann et al. 2009a).
- Exploitation de ce champ de vitesses GPS confirmant et améliorant les résultats préliminaires publiés en 2007 (dispersion significativement réduite des tendances individuelles et régionales des marégraphes corrigées par GPS).
- Extension de l'application du champ de vitesses GPS en vue d'une évaluation externe géophysique, en particulier via une confrontation aux prédictions des modèles d'ajustement glacio-isostatique (Bouin & Wöppelmann 2010).
- Evaluation de l'impact du changement de repère terrestre dans lequel sont exprimés les résultats (ITRF2000 versus ITRF2005), et des effets de réseau dans l'analyse des mesures GPS et la réalisation du repère terrestre (Legrand et al. *in press*).
- Développement de l'infrastructure de calculs GPS, matérielle et logicielle. Portage des logiciels GAMIT/GLOBK et CATREF sur un cluster Linux de 128 nœuds de calcul. Acquisition des outils d'analyse de bruit dans les séries temporelles de positions (S. Williams du POL).
- Définition d'une nouvelle stratégie de calcul GPS incorporant l'état de l'art des modèles et des corrections (Santamaria et al. 2009a ; 2009b), et préparation d'un nouveau champ de vitesses GPS étendu à 310 stations sur 13 ans (1996-2008), en évaluation (Santamaria et al. 2009c).

Les principaux résultats obtenus en 2009 sont décrits avec détail dans les articles publiés dans les revues spécialisées de rang international (cf. section 6). Une sélection est proposée ici à l'aide de figures extraites des diverses communications écrites ou orales effectuées en 2009. Elle illustre la dynamique positive et la place conquise qu'ils occupent sur la scène internationale.

3. Une sélection de résultats

Les résultats publiés par Wöppelmann et al. (2009) montrent que la dispersion des tendances individuelles des marégraphes est notablement réduite après application de la correction des vitesses verticales GPS, aussi bien à l'échelle globale qu'à l'échelle des groupements régionaux effectués par Douglas (2001) sur des considérations océanographiques. La figure 1 illustre ceci dans deux régions, en Europe du Nord et en Amérique du Nord-Ouest : à gauche sont présentées des séries de niveaux moyens de la mer mesurés par marégraphie ; au milieu les séries sont corrigées avec les prédictions du modèle glacio-isostatique ICE5G (VM2) ; et à droite avec les vitesses GPS obtenues par le centre d'analyses ULR dans le repère ITRF2005.

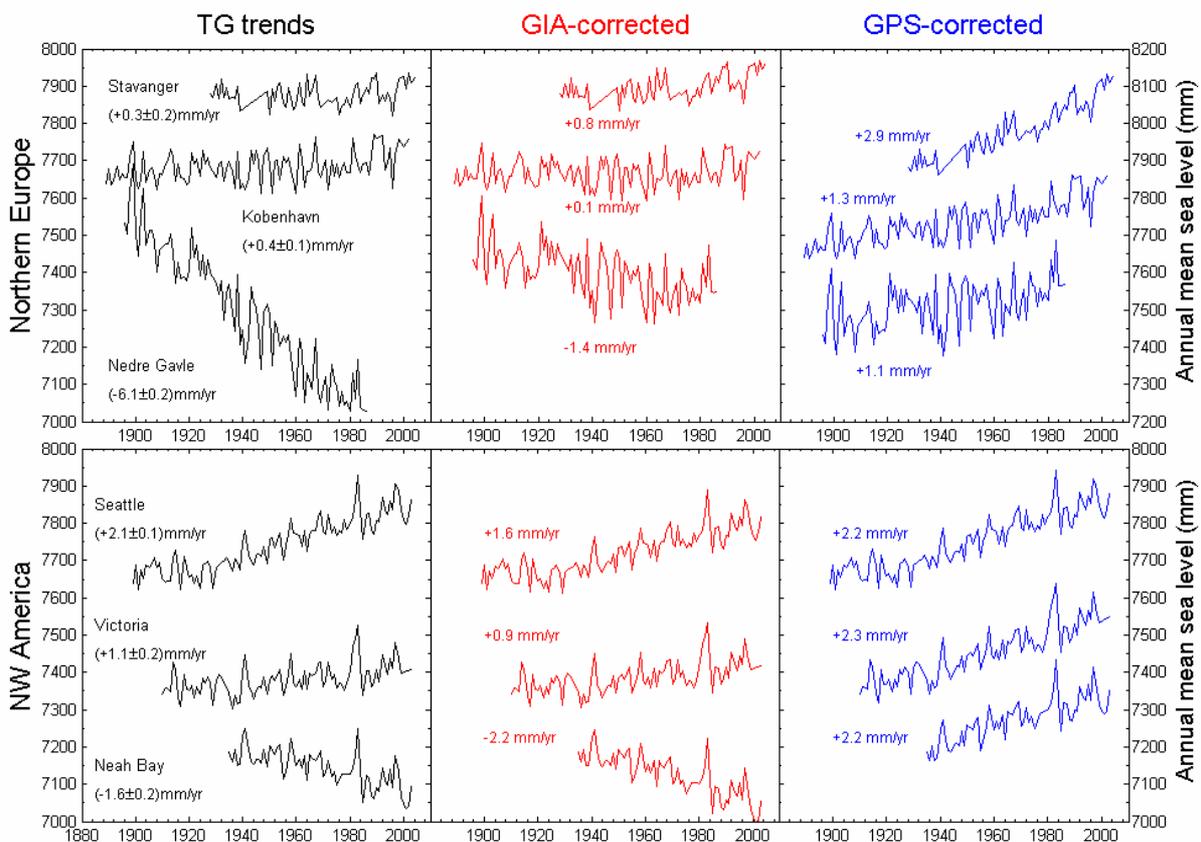


Fig 1 : Séries temporelles de valeurs moyennes annuelles du niveau marin issues: i) de marégraphes (panneaux de gauche) ; ii) de marégraphes corrigés des prédictions du modèle de rebond postglaciaire ICE-5G VM2 (au centre) ; et iii) de marégraphes corrigés avec des résultats GPS (à droite) ; en Europe du Nord (panneaux du haut) et en Amérique du Nord-Ouest (panneaux inférieurs).

Le traitement des observations GPS est particulièrement complexe pour déterminer les mouvements verticaux ténus du sol sur lequel reposent les marégraphes (mouvements de l'ordre du mm/an). Cela reste un défi en Géodésie, posant des questions fondamentales, par exemple dans la réalisation d'un repère de qualité suffisante (origine, échelle), et des limites techniques. Des ressources importantes sont nécessaires, en particulier de calcul mais pas seulement car les stations sont nombreuses et réparties autour du globe (collectes à distance, archivage, gestion des données). Le centre d'analyses ULR (IGS/TIGA) s'appuie sur l'infrastructure informatique développée à l'université de La Rochelle. Le cluster Linux de 128 nœuds de calcul acquis en 2008 a permis de réduire les temps de calculs GPS. Les tests

effectués ont montré que dix ans d'observations GPS d'un réseau de 220 stations pouvaient être recalculés en une semaine (contre un an auparavant), récompensant ainsi les mois de travail de l'équipe ULR en 2008 et 2009, qui a reçu un soutien précieux du centre de ressources informatiques de l'université dans le portage des logiciels GAMIT, GLOBK, et CATREF.

Des difficultés techniques restent encore à résoudre, mais les nouvelles capacités de calcul donnent à l'ULR la perspective de pouvoir s'aligner aux groupes qui participent à l'IGS. Elles ouvrent des perspectives enthousiasmantes d'expérimentation. Ainsi, dans le cadre de la thèse de doctorat de A. Santamaria, la stratégie d'analyse des mesures GPS est revue de manière critique : modèles (troposphère), corrections (centres de phase des antennes des stations et des satellites), paramétrisation et stratégie d'ajustement (orbites, orientation de la terre, réseau). De nombreux tests ont été conduits, présentés, et discutés dans des rencontres internationales (Santamaria et al. 2009a ; 2009b) afin de s'assurer que l'état de l'art des connaissances était bien implémenté. Un nouveau champ de vitesses GPS est obtenue, étendu à quelque 310 stations (contre 225 dans Wöppelmann et al. 2009a) sur une période plus longue (1996-2008). Il est en cours d'évaluation (Santamaria et al. 2009c) et sera publié en 2010. La figure 2 illustre le gain notable dans la qualité des vitesses verticales de la nouvelle solution (ULR4) par rapport à la précédente (ULR3). Les écart-types sont estimés en prenant en compte la nature et le niveau du bruit dans les séries temporelles. Le bruit dans les séries temporelles des stations GPS est réduit de l'ordre de 30 à 45% suivant les composantes et les stations considérées.

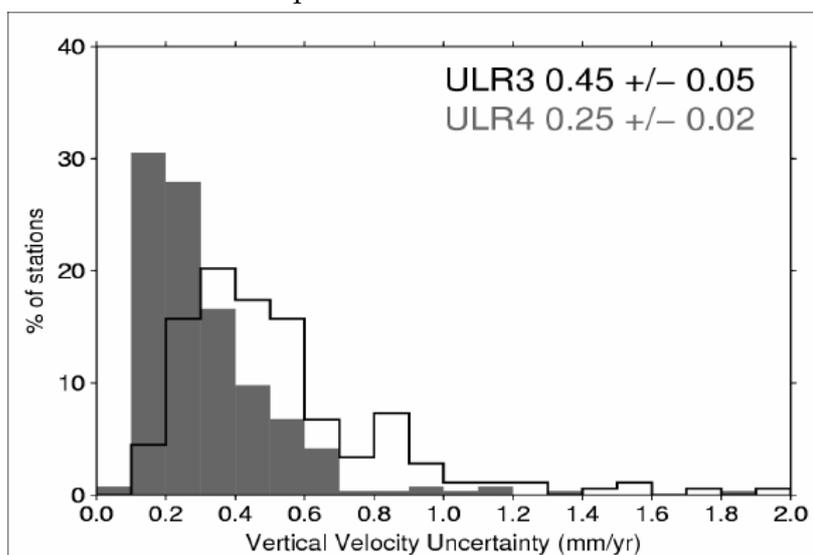


Fig 2 : Histogrammes des écart-types des vitesses verticales de la solution GPS en cours de préparation (ULR4) et de la précédente (ULR3) publiée en 2009 (Wöppelmann et al. 2009a)

4. Conclusions et Perspectives

Si le centre d'analyses ULR a émergé sur la scène internationale en 2007 avec la publication des premiers résultats, l'année 2009 consacre sa reconnaissance avec l'invitation du service international IGS à concourir à sa 1^{ère} campagne *reprocessing* (<http://acc.igs.org/reprocess.html>), mais aussi à rejoindre avec sa solution publiée en 2009 la réalisation du prochain repère ITRF2008 et à contribuer au groupe de travail 'Regional Dense Velocities' de l'association internationale de Géodésie (Bruyninx et al. 2009, <http://www.epncb.oma.be/IAG/objectives.php>). Nos résultats sont également remarqués par le groupe d'experts du programme mondial d'observation du niveau de la mer GLOSS de la Commission océanographique internationale comme le témoigne la participation française au workshop *Precision Observations of Vertical Land Motion at Tide Gauges*, qui s'est tenu à l'Unesco en mai 2009 (Merrifield et al. 2009 ; Wöppelmann et al. 2009b).

Maintenant que le centre d'analyses ULR est remarqué sur la scène internationale, il conviendra d'asseoir durablement l'infrastructure mise en place et de progresser aux côtés des

meilleurs en consolidant les moyens de l'équipe ULR. Sans aucun doute les retours de l'IGS et de l'ITRF seront très riches en enseignements et permettront de progresser dans la maîtrise fine des analyses GPS, aussi bien pour l'application visée (mouvements verticaux des marégraphes) que pour les exploitations géodynamiques que nous commençons à entrevoir en collaboration (Amalvict et al. 2009 ; Bruyninx et al. 2009 ; Legrand et al. in press ; Letetrel et al. 2009).

5. Participants au projet

Guy WOPPELMANN, Coordinateur rédaction du chapitre (Université La Rochelle)

Marie-Noëlle BOUIN, Chercheur (CNRM, Météo-France)

Xavier COLLILIEUX, Chercheur (IGN/LAREG)

Mikael GUICHARD, Ingénieur (Université La Rochelle)

Camille LETETREL, Doctorante à l'Université de la Rochelle

Pascal TIPHANEAU, Technicien (Université La Rochelle)

Alvaro SANTAMARIA, Doctorant au LAREG (IGN)

6. Références bibliographiques (2009)

- Amalvict, M., Willis, P., Wöppelmann, G., Ivins, E., Bouin, M-N., Testut, L., Hinderer, J., 2009. Stability of the East Antarctic station Dumont d'Urville from long-term time series of geodetic and geophysical observations. *Polar Research*, 28, 193-202.
- Bouin, M-N., and Wöppelmann, G., 2010. Land motion estimates from GPS at tide gauges: a geophysical evaluation. *Geophysical Journal International*, 180, 193-209.
- Bruyninx, C., Altamimi, Z., Becker, M., Craymer, M., Combrinck, L., Combrink, A., Dawson, J., Dietrich, R., Fernandes, R., Govind, R., Herring, T., Kenyeres, A., King, B., Kreemer, C., Lavallée, D., Legrand, J., Sánchez, L., Sella, G., Shen, Z., Wöppelmann, G., *accepted*. A Dense Global Velocity based on GNSS Observations: Preliminary Results". IAG General Assembly 2009, Geodesy for Planet Earth.
- Collilieux, X. and Wöppelmann, G., 2009. Global sea-level rise and its relation to the terrestrial reference frame definition. AGU Fall Meeting, San Francisco, 14-18 December 2009, Session G11C "Terrestrial Reference Systems: Theory, Realizations, and Applications".
- Legrand, J., Bergeot, N., Bruyninx, C., Wöppelmann, G., Bouin, M-N., Altamimi, Z., *in press*. Impact of Regional Reference Frame Definition on Geodynamic Interpretations. *Journal of Geodynamics*, doi:10.1016/j.jog.2009.10.002.
- Letetrel, C., Karpitchev, M., Wöppelmann, G., 2009. Reconstruction of sea level variability in the Gulf of Mexico during the period 1950-2007. AGU Fall Meeting, San Francisco, 14-18 December 2009, Session G53C "Quantifying Sea Level Change".
- Merrifield, M., Aarup, T., Aman, A., Caldwell, P., Fernandes, R. M. S., Hayashibara, H., Kilonsky, B., Martin Miguez, B., Mitchum, G., Perez Gomez, B., Rickards, L., Rosen, D., Schöne, T., Testut, L., Woodworth, P., Wöppelmann, G., 2009. The Global Sea Level Observing System (GLOSS). In *OceanObs'09*, Ocean Information for society: sustaining the benefits, organizing the potential, Community White Papers, 21-25 Sept. 2009, Venice, Italy.
- Santamaria, A., Bouin, M-N., Wöppelmann, G., 2009a. Impact of sub-network configuration on global scale GPS processing. EGU General Assembly, Vienna, Austria, 20-24 April 2009, Session G1, EGU2009-3257.
- Santamaria, A., Bouin, M-N., Wöppelmann, G., 2009b. Overview of current GPS reprocessing strategy at ULR TIGA Analysis Center. 11th session of the GLOSS Group of Experts and associated Workshop, Unesco, Paris, 11-15 May 2009.
- Santamaria, A., Bouin, M-N., Wöppelmann, G., 2009c. Improved GPS data analysis strategy for tide gauge benchmark monitoring. IAG General Assembly 2009, Geodesy for Planet Earth.
- Wöppelmann, G., Letetrel, C., Santamaria, A., Bouin, M-N., Collilieux, X., Altamimi, Z., Williams, S.D.P., Martin Miguez, B., 2009a. Rates of sea-level change over the past century in a geocentric reference frame. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L12607, doi:10.1029/2008GL038720.
- Wöppelmann, G., Schöne, T., Williams, S.D.P., Sella, G., 2009b. Report from Session 3 "Present geodetic network status". Workshop on Precision Observations of Vertical Land Motion at Tide Gauges, Paris, UNESCO, 11-12 May 2009.

4 - OCÉANS, HYDROLOGIE GLOBALE

4.1. Altimétrie spatiale

4.1.1. Variations du niveau des océans

4.1.2. Etalonnages

4.1.3. Hydrologie spatiale

4.2. Phénomènes côtiers

4.3. Glaces

4.1.1. ALTIMÉTRIE SPATIALE : VARIATION DU NIVEAU DES OCEANS

1. Rappel des objectifs scientifiques

L'étude du niveau de la mer et son évolution en réponse au réchauffement climatique est l'objet d'une proposition acceptée par CNES/Eumetsat/NASA dans le cadre du projet OSTST/Jason-2. La proposition s'articule autour de plusieurs axes :

1. Mesure par altimétrie spatiale des variations actuelles du niveau de la mer à l'échelle globale et régionale (collaboration avec CLS) ; validation des résultats ; étude du bilan d'erreur ; comparaison avec les données marégraphiques.
2. Etude des causes de l'évolution actuelle du niveau moyen global de la mer (contributions stériques, fonte des glaces et échanges de masse d'eaux continentales) à partir de différentes sources de données in situ et spatiales.
3. Reconstruction des variations régionales passées (depuis 1950) du niveau de la mer par combinaison des données marégraphiques, altimétriques et de sorties d'un modèle de circulation générale océanique ; étude de la variabilité interannuelle à multi décennale
4. Projections futures (en collaboration avec le CNRM).
5. Etude des impacts de la hausse future du niveau de la mer.

2. Observations de la hausse du niveau moyen global sur la période altimétrique et étude des causes : bilan

2.1. Observation du niveau de la mer

En collaboration avec CLS, on met à jour régulièrement la courbe du niveau moyen global de la mer par altimétrie spatiale (données Topex/Poseidon, Jason-1 et Jason-2) (Fig.1a). La hausse moyenne calculée entre janvier 1993 et septembre 2009 est de 3.35 (+/- 0.4) mm/an. Cette valeur apparaît stable depuis quelques années. Ceci est illustré sur la Fig.1b qui montre l'évolution de la hausse moyenne altimétrique sur 1993-2002, 1993-2004, ... jusqu'à 1993-2008.

Une étude récente a été menée sur les différentes sources d'erreur (dérives et biais instrumentaux, erreur des corrections géophysiques, etc.) affectant la mesure de la hausse du niveau moyen global de la mer altimétrique. Une nouvelle estimation réaliste du bilan d'erreur (de l'ordre de 0.45 mm/an) est proposée. Un article a été publié à *Ocean Sciences* (Ablain et al., 2009).

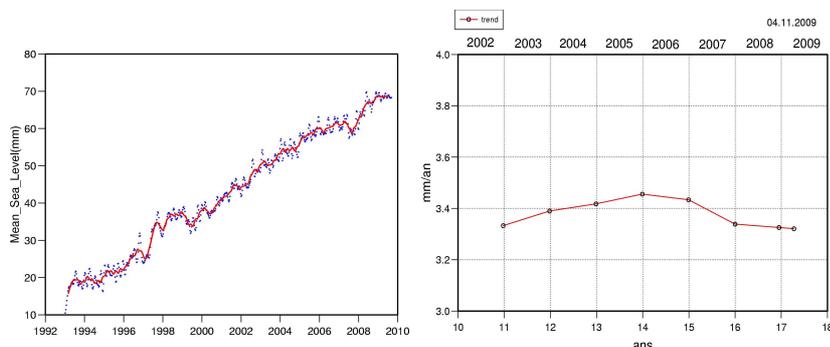


Fig.1 : *Gauche* : Evolution du niveau moyen global de la mer entre janvier 1993 et septembre 2009.
Droite : Evolution de la vitesse d'élévation calculée entre 1993-2002, 1993-2003, ...1993-2008 (ajouts successifs d'une année de données). La tendance varie entre 3.32 et 3.45 mm/an.

Les données marégraphiques sont considérées comme essentielles pour calibrer les systèmes altimétriques et détecter d'éventuelles dérives instrumentales. Mais une étude de Holgate & Woodworth (GRL, 2004) a suggéré que le niveau moyen de la mer aux côtes (tel que mesuré par les marégraphes) monte plus vite que le niveau moyen global déduit de l'altimétrie. Nous avons reproduit l'analyse de Holgate & Woodworth sur un intervalle de temps plus long (15 ans au lieu de 10 ans) et avons montré que la longueur de la série marégraphique est critique pour déterminer une tendance fiable du niveau de la mer. Avec seulement 10 ans de données (comme Holgate & Woodworth), on trouve en effet une hausse du niveau moyen côtier supérieur au niveau moyen altimétrique. Mais en allongeant la série marégraphique, cet écart s'estompe et la tendance marégraphique tend vers la tendance altimétrique. Cela résulte de l'importante variabilité reliée à la variabilité régionale mise en évidence par la couverture globale de l'altimétrie. En moyennant globalement, celle-ci s'élimine dans le niveau moyen altimétrique mais pas dans la courbe marégraphique. Ce travail a fait l'objet d'un article publié à *Geophys. Res. Lett.* (Prandi et al., 2009).

2.2. Causes de la hausse du niveau moyen global

Dans une étude récente, nous avons estimé les contributions stériques (température et salinité), et des glaces à la hausse du niveau de la mer depuis 2003. L'analyse récente des données de température in situ (avec une contribution très forte des données du réseau Argo) fait état d'une pause dans le réchauffement de l'océan depuis 2003. Alors qu'au cours de la période 1993-2003, l'expansion thermique de l'océan a contribué pour 1.5 mm/an (soit 50%) à la hausse du niveau de la mer mesurée par altimétrie, pour les dernières années, cette contribution est de seulement 0.5 mm/an seulement. Mais le niveau de la mer a continué à monter. Nous avons alors cherché à estimer la contribution de la masse de l'océan (apports d'eau et de glace à l'océan) en utilisant les données de gravimétrie spatiale GRACE. En moyennant les données sur le domaine océanique, nous avons estimé à 1.9 mm/an la contribution des apports d'eau douce à l'océan en 2003 et 2008. Si on ajoute la petite contribution stérique, on voit qu'on peut expliquer la hausse observée. En vue de comprendre l'origine de ces apports d'eau, nous avons en parallèle analysé les données GRACE sur les calottes polaires. D'après GRACE, on observe une perte de masse de glace du Groenland de l'ordre de -150 milliards de tonnes par an. Un résultat analogue est obtenu pour l'Antarctique de l'ouest. En terme de contribution au niveau de la mer, cette perte de masse de glace (qui résulte pour l'essentiel de l'écoulement très rapide des glaciers côtiers déstabilisés par le réchauffement des eaux océaniques) correspond à une hausse de 1 mm/an. La contribution des glaciers de montagne (de 1 mm/an) est obtenue à partir de résultats publiés. Enfin la contribution des stocks d'eaux continentales est estimée à partir des données GRACE (voir section 2.3 ci-dessous). Elle est faible, de l'ordre de -0.2 mm/an. La somme des effets des glaces et des eaux continentales est en très bon accord avec la détermination directe par GRACE de l'augmentation de la masse d'eau de l'océan. Ces résultats nous permettent de 'fermer' le bilan du niveau de la mer sur les 5 dernières années. La conclusion est que malgré la pause -sans doute temporaire- du réchauffement de l'océan, le niveau de la mer a continué à monter en raison de l'accélération de la fonte des glaces continentales. Ce travail a fait l'objet d'une publication à *Global and Planetary Change* (Cazenave et al., 2009). En parallèle nous avons ré-estimé les différentes contributions climatiques à la hausse du niveau de la mer sur l'ensemble de la période altimétrique (en supposant une pente linéaire pour chaque contribution). Le bilan montre qu'entre 1993 et 2009, l'expansion thermique, la fonte des glaciers de montagne et les calottes polaires ont contribué chacun pour 1/3 à la hausse observée. Un article de review a été publié dans *Annual Review of Marine Sciences* (Cazenave and Llovel, 2010).

2.3. Contribution des eaux continentales à la hausse du niveau de la mer

Les données de la mission de gravimétrie spatiale GRACE permettent de quantifier les variations des stocks d'eaux terrestres et leur effet sur le niveau de la mer. L'analyse des données GRACE entre 2003 et 2009 a permis d'estimer les tendances de variations des stocks d'eau dans les 33 plus grands bassins fluviaux du monde. On observe que certains bassins ont perdu de l'eau sur cette période (Mississippi, Ganges, Brahmapoutre) alors que d'autres bassins on 'gagné' de l'eau (Amazone, Lena, Yenisei, MacKenzie). Au total le bilan d'eau est positif, $\sim +80 \text{ km}^3/\text{an}$ sur 2002-2009, ce qui correspond à un effet négatif de $-0.2 \text{ mm}/\text{an}$ sur le niveau de la mer. Un autre résultat de l'étude est la corrélation entre les fluctuations interannuelles du niveau de la mer altimétrique (corrige de l'expansion thermique ; tendance enlevée) et du stock d'eau continental total. Un article a été publié à *C.R. Geosciences* (Llovel et al., 2010).

3. Variabilité régionale des vitesses d'évolution du niveau de la mer (dernières années et dernières décennies)

Les études antérieures menées dans l'équipe ont montré que le réchauffement non uniforme de l'océan et donc la distribution non uniforme de l'expansion thermique est responsable en grande partie de la variabilité régionale des vitesses de variations observées par altimétrie. Ceci est illustré (avec mise à jour) sur la figure 2 qui compare la variabilité régionale altimétrique (1993-2008) et l'expansion thermique sur la même période (calculée à partir données de température de l'océan de la base WOD/ NOAA).

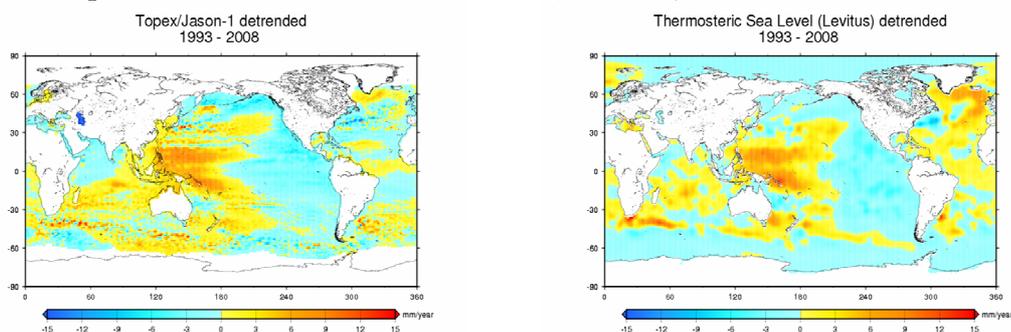


Fig.2 : Variabilité régionale des vitesses de variation du niveau de la mer (1993-2008) observées par altimétrie (tendance uniforme enlevée) (à gauche) ; Expansion thermique sur 1993-2008 (tendance uniforme enlevée) (à droite)

3.1. Période 1993-2001

Pour comprendre mieux la relation entre variabilité régionale du niveau de la mer et expansion thermique, il faut utiliser des modèles de circulation générale. Dans le cadre d'une collaboration menée par A. Lombard avec MERCATOR-Ocean, elle a analysé les sorties du modèle global MERCATOR à haute résolution pour tenter d'expliquer l'origine des structures géographiques observées. L'analyse a porté sur les sorties du modèle océanique global ORCA025 ($\frac{1}{4}^\circ$ « eddy permitting ») développé par MERCATOR-Océan. Les simulations concernent la période 1993-2001 avec forçage ERA40.

L'analyse des sorties de hauteur de mer (SSH), température et salinité du modèle montre des résultats très intéressants : la distribution régionale de l'expansion thermique des 700 premiers mètres de l'océan semblable à celle déduite des bases de température in situ de l'océan sur la même période 1993-2001. Dans certaines régions, des compensations existent entre les effets de la température et de la salinité. Le signal stérique total (température + salinité) explique la quasi-totalité de la variabilité régionale des vitesses de variation du niveau de la mer observées par altimétrie. Un article a été publié à *Ocean Dynamics* (Lombard et al., 2009).

3.2. Période 1950-2003

Pour étudier la variabilité régionale du niveau de la mer dans le passé il faut utiliser des méthodes de reconstruction. Nous avons développé un code de calcul permettant de reconstruire le niveau de la mer en 2 dimensions dans le passé (dernières décennies) en combinant l'information spatiale (en 2 dimensions) offerte soit par l'altimétrie, soit par des modèles de circulation générale océanique (OGCM) sur une durée limitée (en utilisant l'information sous forme statistique à l'aide des EOF des grilles correspondantes), avec des séries de hauteur de mer marégraphiques in situ (séries longues mais de distribution limitée et hétérogène). La méthode a été appliquée pour reconstruire la variabilité régionale du niveau de la mer depuis 1950 en utilisant des séries marégraphiques longues de bonne qualité et des grilles de hauteurs dynamiques issues des sorties du modèle de circulation générale océanique avec assimilation OPA/NEMO développé par P. Rogel au CERFACS. Les résultats montrent que le niveau de la mer reconstruit sur 1950-2003 années contient à la fois le signal de variabilité interannuelle (principalement liée à ENSO) et un signal à plus long terme (variabilité multi décennale), non 'capturé' avec des EOFs basés <20 ans de données (comme c'est le cas si on utilise l'altimétrie). La fig.4 montre la variabilité régionale ainsi reconstruite sur 1950-2003. Fig.3). Un article a été publié à *Climate of the Past* (Llovel, et al., 2009).

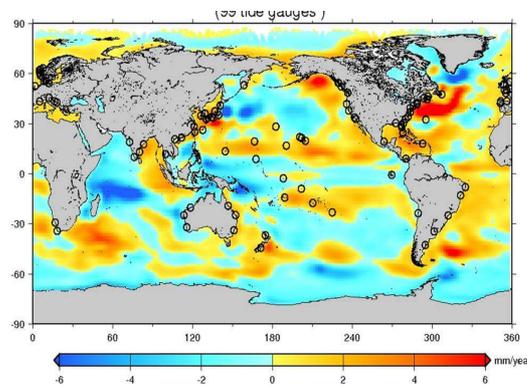


Fig.3: Carte des vitesses de variations du niveau de la mer sur 1950-2003, d'après la reconstruction de Llovel et al. (2009)

3.3. Variabilité régionale du niveau de la mer Méditerranée depuis 1969

Le niveau de la mer en Méditerranée a un comportement très différent du niveau moyen global, avec des modes de variabilité spatio-temporels spécifiques. Il est donc nécessaire de réaliser une reconstruction adaptée. Dans le cadre de sa thèse, B. Messignac a adapté le code de reconstruction au cas de la Méditerranée (région pour laquelle on dispose de peu de séries marégraphiques longues, ce qui nécessite une reconstruction par tranches temporelles de 10 ans environ et une recombinaison sur la période longue). Différents essais de reconstruction ont été réalisés en utilisant 3 modèles différents de circulation générale sur la mer Méditerranée. Les résultats sont en cours de test et font l'objet d'une présentation à l'AGU Fall Meeting de San Francisco (Messignac et al., 2009) (Fig.4). Ces travaux sont menés en collaboration avec L. Fenoglio-Marc (Darmstadt, Allemagne), B. Vermerssen (DUT, Hollande) et F. Fletchner (GFZ, Allemagne) dans le cadre du projet TOPOEUROPE.

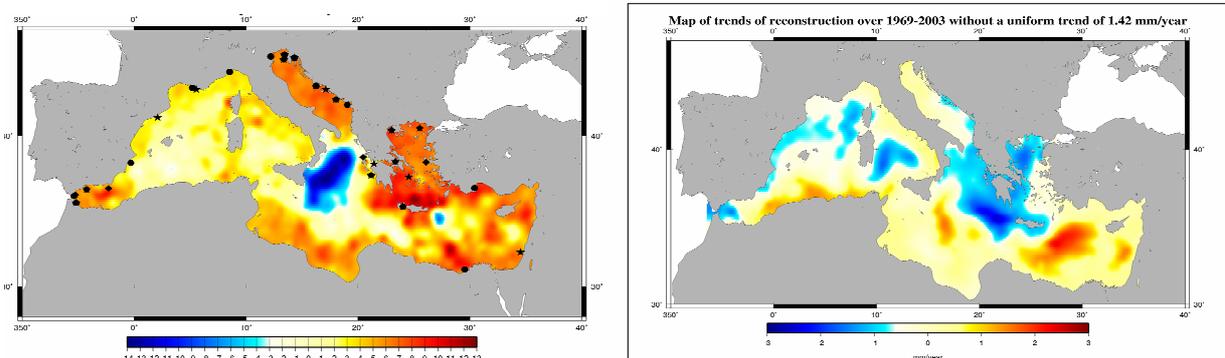


Fig.4 : Structure spatiale des vitesses de variation du niveau de la mer Méditerranée. A gauche d'après l'altimétrie Topex/Poseidon et Jason-1 sur 1993-2008 ; A droite d'après la reconstruction sur 1969-2003 de Meyssignac et al. (2009)

3.4. Période 2003-2009

Une étude en collaboration avec CLS a eu pour objectif d'analyser la variabilité régionale du niveau de la mer altimétrique (Jason-1 et Jason-2), de l'expansion thermique (données Argo) et de la masse de l'océan (observations GRACE) sur la période 2003-2009. Un des objectifs est d'attribuer la variabilité régionale observée du niveau de la mer soit à des effets stériques soit à des effets de masse d'eau. L'étude a mis en évidence la signature de plusieurs épisodes IOD (Indian Ocean Dipole) successifs dans l'océan Indien, en 2006, 2007 et 2008. Une des conclusions de l'étude porte sur la dispersion des 'produits température et salinité' Argo (5 bases de données ont été comparées) ainsi que sur le faible rapport 'signal sur bruit' des données GRACE sur l'océan. Un article a été soumis à *Ocean Dynamics* (Llovel et al., 2010).

4. Elévation future du niveau de la mer

Une collaboration a démarré récemment avec le CNRM sur la validation des 'prédictions' d'évolution du niveau de la mer basées sur le modèle climatique couplé du CNRM dans le cadre des travaux du GIEC. Des runs en 'rétrospectif' du modèle du CNRM ont été réalisés depuis 1900 en vue d'une comparaison avec les observations du niveau de la mer. L'objectif est de valider le modèle de climat en vue de calcul de l'évolution du niveau de la mer sur les prochaines décennies.

L'analyse des variations stériques de hauteur de mer issues du modèle couplé est en cours en moyenne globale et en terme de variabilité régionale. Sur la période 1950-2000, des comparaisons sont menées avec l'expansion thermique basée sur les nouvelles données de température de l'océan de Levitus (Noaa) et M. Ishii (Jamstec), ainsi qu'avec la reconstruction 2-D de Llovel et al. (2009). Une présentation de ces travaux a eu lieu à l'AGU Fall Meeting en décembre 2009 à San Francisco (Llovel et al., 2009).

5. Etude des impacts côtiers de la hausse actuelle et future du niveau de la mer

L'étude des impacts côtiers de la hausse du niveau de la mer combinant effets climatiques (hausse du niveau de la mer plus variabilité régionale), effets anthropiques (subsidence du sol due au pompage de l'eau et du pétrole), phénomènes naturels (mouvements du sol d'origine tectonique ou volcanique, effets hydrologiques et géologiques (apports sédimentaires dans les deltas des grands fleuves, variations de la morphologie des côtes, etc.) est en phase de démarrage. Plusieurs régions seront étudiées, en particulier des départements et territoires d'outre mer (Ile de la Réunion, Polynésie), mais aussi Delta du Nil, Golfe du Mexique, îles du Pacifique de l'ouest. Ces travaux seront menés en collaboration avec le BRGM et l'Université de La Rochelle dans le cadre d'un projet ANR (accepté).

6. Participants au projet

6.1. Chercheurs LEGOS

M. Becker, Post-Doc, LEGOS

A. Cazenave, LEGOS

K. DoMinh, CNES-LEGOS

W. Llovel (thèse en cours), LEGOS

B. Meyssignac (thèse en cours), CNES-LEGOS

R. Morrow, Chercheur LEGOS

P. Maisongrande, CNES-LEGOS

6.2. Chercheurs extérieurs associés

M. Ablain, CLS,

S. Guinehut, CLS

A. Lombard, CNES

P. Rogel, CERFACS

D. Salas, CNRM

N. Lenotre, BRGM

7. Références bibliographiques

Ablain M., Cazenave A., DoMinh K, Guinehut S., Llovel W., Lombard A. and Valladeau G., A new assessment of global mean sea level from altimeters highlights a reduction of global slope from 2005 to 2008 in agreement with in-situ measurements, *Ocean Sciences*, 5, 193-201, 2009.

Cazenave A., Guinehut S., Ramillien G., Llovel W., DoMinh K., Ablain M., Larnicol G. and Lombard A., Sea level budget over 2003-2008; a reevaluation from satellite altimetry, GRACE and Argo data, *Global and Planetary Change*, 65, 83-88, doi:10.1016/j.gloplacha.2008.10.004, 2009.

Llovel W., Cazenave A., Berge-Nguyen M. and Rogel P., Past sea level reconstruction (1950-2000) using the OPA/NEMO global ocean circulation model, tide gauge and satellite altimetry data, *Climate of the Past*, 5, 1-11, 2009.

Lombard A., Garric G., Penduff T. and Molines J.M., Regional variability of sea level change using a global ocean at model1/4° resolution, *Ocean Dyn.*, doi 10.1007/s10236-008-0161-6, 2009.

Prandi P., Cazenave A. and Becker M., Is coastal mean sea level rising faster than the global mean? A comparison between tide gauges and satellite altimetry over 1993-2007, *Geophys. Res. Lett.*, 36, doi:10.1029/2008GL036564, 2009.

Présentations à AGU Fall Meeting :

Llovel W., Salas D., P. Rogel and Cazenave A., Comparison between CNRM-CM3 coupled-model used for 'IPCC-AR4' with revised historical data-bases and a two-dimensional sea level reconstruction, AGU Fall Meeting, San Francisco, Dec 2009.

Meysignac B., Cazenave A., Morrow R., Llovel W. and Fenoglio-Marc L., Past sea level reconstruction and variability of sea level patterns over 1969-2005 in the Mediterranean Sea, AGU Fall Meeting, San Francisco, Dec 2009.

Autres publications 2009 (articles 'grand public') :

A. Cazenave, ' Hausse du niveau de la mer et changement climatique ', *Revue Questions Internationales*, 2009.

E. Rignot and A. Cazenave, Ice and sea level, in *Arctic Climate feedbacks: global implications*, WWF International, 2009.

A. Cazenave, 'Sea level rise', in *Encyclopedia for ice and snow*, 2009.

4.1.2. ALTIMETRIE SPATIALE : ÉTALONNAGES

1. Introduction

L'année 2008 a vu naître le projet FOAM (From Ocean to inland waters Altimetry Monitoring) qui réunit les collègues impliqués dans les activités de Calibration/Validation sur les océans et les eaux continentales et est financé par le CNES via l'appel à proposition Jason-2. L'année 2009 est quant à elle, bien entendu, placée sous le signe de l'analyse de la phase de Calibration/Validation qui a débuté en juillet 2008 et s'est terminée en janvier 2009 avec le changement d'orbite de Jason-1.

Le premier meeting FOAM a eu lieu à Manaus (Brésil) du 3 au 10 juillet 2009 et a réuni l'ensemble des acteurs de ce projet.

2. Calibration en océan

2.1. Site de Corse

Opérations géodésiques et maintenance du site de Sénétosa

Les dernières opérations géodésiques (nivellement entre points géodésiques notamment) dataient de 1999 et la station météorologique installée en 2000 montraient de nombreux signes de faiblesses et des pannes de plus en plus fréquentes, notamment liées au vieillissement de ses panneaux solaires intégrés. Il a donc été décidé de réaliser une remise à niveau du site et les opérations ont été réalisées du 12 au 16 mai 2009 avec le concours de l'IGN.

L'ensemble des résultats montre une stabilité du référencement du site de quelques millimètres (répétabilité par rapport aux campagnes précédentes 1998, 1999 et 2001).

Campagne FTLRS en Corse

La station laser FTLRS a été mise en place début juillet 2008 à Ajaccio (Corse) avec l'observation du premier passage de calibration (cycle 1, le 15/07). La station a ensuite continué ses observations en plaçant Jason-1&2 en priorité 1, et est retournée sur le plateau de Calern à partir de mi-décembre 2008 marquant ainsi la fin de la période CALVAL intensive prévu dans le projet FOAM. Les résultats sont en cours d'analyse en collaboration avec David Coulot du LAREG/IGN et devraient faire l'objet d'une publication très prochainement incluant l'ensemble des campagnes (2002, 2005 et 2008).

Calibration de Jason-1&2 en mode « vol en formation »

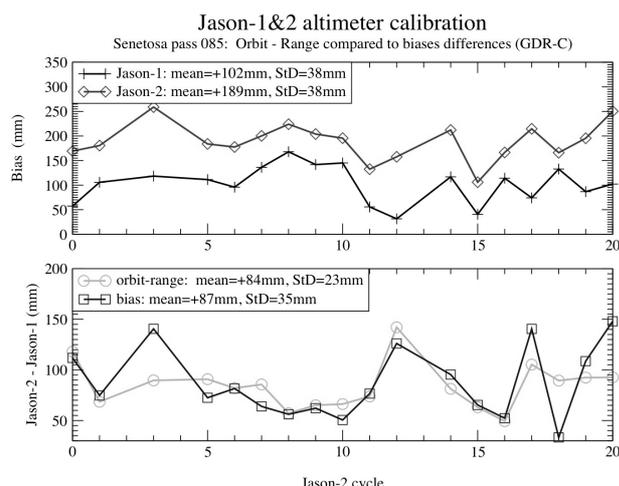


Figure 1. Biais absolus et relatifs de Jason-1&2 pour les 18 cycles communs.

La calibration de Jason-2 sur le site de Corse en parallèle à celle de Jason-1 dans le mode « vol en formation » a permis une intercomparaison très précise des différentes corrections (Table 1) et biais instrumentaux. En supposant les corrections comme équivalentes du fait du faible intervalle de temps entre les survols de Jason-1 et Jason-2 (58 s), il est alors possible de comparer directement les quantités « orbite - mesure » (noté ΔOMR dans la Table 2). Cette différence donne le biais relatif entre les 2 altimètres (sans les corrections). Les biais relatifs issus respectivement des « orbite - mesure » (ΔOMR) et différences de biais absolus (Δbias) sont très cohérents (Table 2).

La Table 3 présente les biais absolus déterminés séparément pour chaque satellite sur l'ensemble des survols (18 pour Jason-1 et 19 pour Jason-2). L'accord entre la médiane et la moyenne montre la cohérence de la série temporelle (Figure 1).

Le bilan des différences de corrections est proche de zéro (Table 1) car les deux sources de différences principales qui viennent de la correction troposphérique humide et de la correction ionosphérique se compensent. Pour la correction ionosphérique, la différence de correction vient du fait que le biais instrumental de Jason-2 est différent entre la bande C et la bande Ku.

En ce qui concerne la correction troposphérique, nos résultats issus des comparaisons avec le GPS (Table 4) montrent que cela provient des radiomètres de Jason-1 (JMR) et Jason-2 (AMR) sensible à la contamination côtière : un produit côtier (noté EPD, Enhanced Path Delay, dans la Table 4) a été développé par Brown et al. (2009) et celui-ci montre un net facteur d'amélioration (différences quasi nulles avec le GPS).

L'ensemble des résultats a été soumis à publication dans le premier volume spécial Jason-2 de *Marine Geodesy* (Bonfond et al. 2010).

Table 1 Différences des corrections en mm (Jason-2 - Jason-1)

Correction	Mean	σ^*
Dry troposphere	-0.1	2.7
Wet troposphere		
AMR - JMR	-5.6	6.0
AMR - ECMWF	23.8	15.1
JMR - ECMWF	29.4	14.4
Ionosphere		
Dual frequencies	+7.6	23.6
Jason-2 - GIM	-5.6	19.1
Jason-1 - GIM	-13.2	17.6
Sea State Bias	-2.7	5.8
Geophysical		
Solid Tides	+0.1	0.7
Loading	0.0	0.0
Pole Tide	0.0	0.0
Total	-0.7	
Environmental parameters		
SWH (cm)	-1.2	23.0
Wind speed (m/s)	+0.6	0.6

* σ est l'écart type.

Table 2. Différences de biais en mm (Jason-2 - Jason-1) pour 18 cycles communs

	Mean	σ^*
ΔOMR	+84	23
Δbias	+87	35

* σ est l'écart type.

Table 3. Biais absolus en mm

	Mean	Median	σ^*	N [*]
Jason-2	+190 ± 8	+195	37	19
Jason-1	+102 ± 9	+111	38	18
Δbias	+88	+84		

* σ est l'écart type et N le nombre de cycles utilisés.

Table 4 Différences moyennes entre la correction troposphérique humide issue des radiomètres et celle issue des données GPS (en mm)

Instrument	Mean (mm)	σ^* (mm)
JMR - GPS	+16.9	10.0
AMR - GPS	+11.7	11.3
EPD** - GPS	+1.9	10.2

* σ est l'écart type.

** Enhanced Path Delay (EPD) pour le « Advanced Microwave Radiometer » (AMR) sur Jason-2

2.2. Site de Kerguelen

Sur le site de Kerguelen lors de l'année 2008 une campagne d'étalonnage des 3 stations marégraphiques de Port-aux-Français (1 capteur radar et 2 capteurs de pression) a été menée par les volontaires à l'aide technique présents sur place. Ces étalonnages ont été effectués à l'aide à la fois de lectures à l'échelle de marée mensuelles et à l'aide de plusieurs sessions bouée GPS. Ce travail permettra non seulement le rattachement précis de la référence instrumentale de chaque instrument à l'ellipsoïde de référence mais viendra aussi compléter les travaux antérieurs et permettre le suivi et l'estimation des dérives instrumentales des références des marégraphes. En parallèle, un marégraphe plongeur a été mouillé le 17 novembre 2008 sous la trace 179 de Jason et à une cinquantaine de km des stations permanentes (cf. Rapport de campagne NIVMER 08). Ce marégraphe permettra d'estimer les différences de variabilité entre le large et le signal observé à la côte par le marégraphe. Ce marégraphe devrait être relevé en novembre 2009 et remplacé par un nouveau mouillage. Une session bouée GPS est prévue sur le nouveau mouillage pour permettre le rattachement de ce dernier à l'ellipsoïde.

Au cours du printemps 2009, un stage de fin d'étude d'ingénieur en collaboration entre le LEGOS et la division technique de l'INSU à Brest a permis la conception d'un nouveau prototype de bouée GPS (plus stable, plus robuste et plus petit) et d'étudier la faisabilité d'un système GPS tracté pour la mesure précise du niveau de la mer. Le résultat principal de ce stage a débouché sur la construction d'un prototype de bouée qui devrait être testé début 2010.

L'ensemble des observations (marégraphes, mouillages, bouée GPS, lectures à l'échelle de marée) est actuellement en cours de récupération et de traitement.

2.3. Site de Vanuatu

Bien que les objectifs principaux du site de Vanuatu soient plutôt d'ordre géophysiques (e.g. surveillance de la tectonique locale et régionale), il est apparu important de l'inclure dans nos analyses car il possède une instrumentation de surveillance du niveau de la mer pérenne (marégraphes et bouée GPS) dont le positionnement est maintenu à un haut niveau de précision grâce aux récepteurs GPS fixes et/ou grâce aux campagnes de rattachement. De plus, plusieurs campagnes bateau ont eu lieu pour cartographier le géoïde local permettant ainsi un rattachement des mesures altimétriques effectuées au large à celle des marégraphes situés sur les côtes.

L'avancement des travaux est résumé ci-dessous :

- Réalisation de la campagne GEODEVA3 de relève des 3 marégraphes dont 1 (Wusi) installé à proximité d'un point de croisement Jason-1/Jason-2 et un autre (Sabine) installé près d'un point de croisement ERS/EnviSat.
- Obtention de la campagne Geodeva4 programmée pour mai 2010. Préparation de cette campagne.
- La nouvelle bouée GPS sur crédit FOAM est encore en cours d'étude et devrait être réalisée pour la campagne GEODEVA4.
- Traitement des données: non encore finalisé. Travail en cours: quantification de la hauteur des deux marégraphes par rapport à l'ellipsoïde en combinant les données marégraphiques avec les données T/P, Jason-1, Jason-2, EnviSat (toutes ces données sont extraites via le site Aviso à haute fréquence et retraitées) et également avec les données T/P et Jason-1 du produit côtier du CTOH.
- Le travail de calibration/validation sur Jason-2 avec le marégraphe de Wusi et le GPS à terre est en cours.

3. Calibration en eaux continentales

L'année 2009 a fait l'objet de deux nouvelles campagnes de mesures sur le lac Issykkul en février et en août, afin de continuer la cartographie de la surface du lac et de réaliser la

calibration de Jason-2 avec une bouée GPS sous la trace au moment d'un passage. De même plusieurs campagnes ont eu lieu sur le bassin amazonien dont les objectifs étaient : récupération des données, profils GPS cinématiques et ADCP sous les traces. Pour plus de détails sur ces activités se référer au chapitre 4.1.3. *Hydrologie spatiale*.

4. Conclusion

L'altimétrie de haute précision est un apport considérable à l'étude de l'évolution du niveau des mers. Pourtant au niveau de précision atteint et pour être capable de suivre des phénomènes de faibles amplitudes (mm/an) elle doit s'appuyer sur un système de référence vertical lui aussi de haute précision depuis l'espace jusqu'à la mer.

Mais cette surveillance ne se limite plus à l'étude des masses d'eaux océaniques et la compréhension des processus d'évolution climatique nécessite de mettre en œuvre un contrôle tout aussi précis des eaux continentales, c'est un des objectifs du projet FOAM.

Ce projet rassemble les compétences acquises depuis de nombreuses années en altimétrie satellitaire, que ce soit pour les océans ou les eaux continentales. La réunion des diverses expériences en un seul projet permet d'avoir une vision plus globale des activités de calibration/validation et d'essayer d'unifier les processus et les bilans d'erreurs individuels.

5. Participants au projet

P. Bonnefond¹ (site de Corse), P. Exertier¹, O. Laurain¹, F. Pierron¹, Y. Ménard², F. Lyard³, S. Calmant³ (Bassin amazonien), J.-F. Crétaux³ (Lac Issyk-Kul), L. Testut³ (Kerguelen), G. Jan⁴ et V. Ballu⁵ (Vanuatu)

Organismes concernés par le projet FOAM :

¹OCA/GeoSciences Azur, Grasse, France

²CNES, Toulouse, France

³LEGOS, Toulouse, France

⁴NOVELTIS, Ramonville, France

⁵IPGP, Paris France

6. Références bibliographiques

P. Bonnefond, B. Haines and C. Watson, 2010, In situ Absolute Calibration and Validation: a link from coastal to open-ocean altimetry, chapter in Coastal Altimetry book edited by S. Vignudelli, A. Kostianoy, P. Cipollini, J. Benveniste, Springer, in press.

S. Brown, 2009, A Novel Near-Land Radiometer Wet Path Delay Retrieval Algorithm: Application to the Jason-2/OSTM Advanced Microwave Radiometer, IEEE Trans. Geosci. Rems. Sens., in press.

Publication soumise

P. Bonnefond, P. Exertier, O. Laurain and G. Jan, 2009, Absolute Calibration of Jason-1 and Jason-2 Altimeters in Corsica during the Formation Flight Phase, Special Issue on Jason-2 Calibration/Validation, Part 1, *Marine Geodesy*, submitted.

4.1.3. ALTIMÉTRIE SPATIALE : HYDROLOGIE SPATIALE

1. Introduction

Aujourd'hui notre connaissance des variations spatiales et temporelles des flux et stocks d'eaux continentales, des échanges d'énergie et de masse d'eau entre la basse atmosphère et les sols, des phénomènes hydrodynamiques à l'échelle des bassins versants, etc. est encore limitée. Des réseaux d'observations in situ (niveaux d'eau, débits, humidité des sols) ont été mis en place au cours des dernières décennies dans de nombreux bassins hydrographiques mais leur distribution reste très hétérogène et l'accessibilité aux données devient de plus en plus problématique. Depuis quelques années, les techniques spatiales de télédétection (imagerie visible et radar, radiométrie, altimétrie, gravimétrie, etc.) apportent des informations précieuses sur l'humidité des sols, l'extension et l'épaisseur du manteau neigeux, la distribution des plaines inondées, les variations des masses d'eau dans les grands bassins fluviaux, les niveaux d'eau des fleuves, lacs et plaines inondées, etc., mais pour l'essentiel les missions spatiales concernées ont été développées pour d'autres objectifs et ne sont pas optimisées pour les applications hydrologiques. En parallèle, des modèles hydrologiques régionaux et globaux ont été développés pour étudier, à l'échelle des bassins versants, les échanges de masse et d'énergie à l'interface sol atmosphère, les flux et stocks d'eau dans les différents réservoirs des sols et le ruissellement dans le réseau hydrographique.

Le suivi des eaux continentales par altimétrie satellitaire a commencé il y a une quinzaine d'années avec la réalisation de séries temporelles de hauteur d'eau d'une précision de quelques décimètres sur les fleuves majeurs et les grands lacs avec les GDR Topex/Poseidon (T/P). Grâce à ENVISAT, des séries temporelles sur les fleuves d'une précision décimétrique sont maintenant réalisées sur des cours d'eau et des lacs de dimension beaucoup plus réduite (jusqu'à quelques centaines de mètres de large) et des zones d'inondation. Sur les cours d'eau, des paramètres hydrologiques tels que courbes de tarage, pentes de fond et de ligne d'eau, coefficients de Manning peuvent aussi être dérivés de ces séries temporelles. Sur les lacs, la multiplication des missions altimétriques a permis le suivi ininterrompu de plusieurs centaines d'objets avec un échantillonnage temporel inférieur à la semaine.

L'utilisation en synergie d'observations in situ et spatiales d'un certain nombre de paramètres hydrologiques et la modélisation (modélisation des bilans d'eau à l'échelle des bassins, prédiction des crues, etc.) doit permettre d'aborder plusieurs questions fondamentales liées au cycle de l'eau continental, à la physique des processus de petite échelle, aux problèmes spécifiques à l'hydrodynamique des bassins fluviaux, et aux questions relatives aux impacts des changements climatiques sur les ressources en eaux.

L'objectif de ce travail est de renforcer le rôle de la télédétection spatiale, autour de différents senseurs (altimétrie, gravimétrie, imagerie) pour le suivi et l'étude des eaux de surface, et de développer des méthodes d'analyses orientées pour des objectifs d'hydrologie et de climatologie. Un autre objectif est de mettre en place des bases de données de niveau élevé et homogène (niveau d'eau de fleuves et de lacs, variations de stocks d'eau, volumes, surface, etc.)

Nous avons distingués trois aspects principaux dans cette étude :

Un aspect purement technique, un aspect scientifique, et un aspect base de données.

- Tout d'abord nous nous proposons d'étudier toutes les voies d'amélioration méthodologiques dans le traitement des données altimétriques des différentes missions pour les objectifs scientifiques liés à l'hydrologie continentale (analyse des modes de « retracking » des formes d'ondes, méthodes de calcul adaptés aux lacs aux rivières et aux zones d'inondation tenant compte des spécificités physiques de ces objets et des contraintes qui leur sont liées quant à la mesure altimétrique, combinaison avec d'autres capteurs pour produire des paramètres inaccessible par l'altimétrie seule (en particulier les stocks d'eau, et leur variations).
- En second lieu nous avons choisi un certain nombre de lacs, de grands fleuves, ou de zones d'inondations qui nous ont servis de cas tests avec chacun des spécificités que nous espérons pouvoir retrouver sur d'autres objets de même type et donc tenter de généraliser les méthodes de traitement et d'analyse des données. Nous nous sommes appuyés et nous continuerons de le faire sur ces cas d'études pour tenter de mieux quantifier les interactions des cycles de l'eau dans les grands bassins (qu'ils soient fluviaux ou lacustres) avec les changements climatiques.
- Un dernier aspect concerne la continuation et l'amélioration de la base de données Hydroweb qui a été développée au Legos il y a environ 4 ans. En particulier nous comptons opérer un rapprochement avec la base de données du CTOH (tant au niveau des modes opératoires - saisie de données, choix des corrections - que des sorties-niveau d'eau des différents objets traités). Dans le même temps il est prévu de procéder à une mise à jour plus automatique des produits dans Hydroweb, via l'utilisation de produits altimétriques temps quasi réel disponibles dans les centres de données comme Aviso.

2. Résumé de l'activité menée en 2009 sur le projet

2.1. Lacs et réservoirs

Les lacs naturels et artificiels sont des réservoirs d'eau essentiels dans l'industrie, l'agriculture, la pêche, l'hydro-électricité et pour la consommation domestique. Ils sont les plus grands réservoirs d'eau douce utilisables sur les continents. Par ailleurs l'évolution temporelle des stocks d'eau contenus dans ces bassins et des conditions hydro physiques, est symptomatique d'une conjonction de forçages extérieurs, climatiques et anthropiques. Selon l'UNEP (United Nation Environment Programme) un des plus sérieux problèmes concerne l'assèchement général des réserves d'eau dans les grands lacs (Tchad, Victoria, Aral), la contamination par des produits chimiques, et l'appauvrissement de l'écosystème et du biotope. Il est donc essentiel de pouvoir suivre ces évolutions: à l'échelon régional il faut pouvoir gérer, planifier et prendre des mesures conservatoires des stocks d'eau disponibles. A l'échelon global, il faut quantifier et analyser les impacts des changements climatiques sur ces stocks d'eau, et inversement utiliser la surveillance des grands lacs pour mieux comprendre et modéliser les interactions avec les changements climatiques. Il est de ce fait indispensable de mettre en place des outils d'observations globaux, accessibles et pérennes. Or la situation dans ce domaine est encore très inégale et incomplète : des régions comme les grands lacs d'Amérique du nord par exemple sont abondamment pourvus en système de mesures in situ accessibles et souvent gratuits, tant pour les conditions morpho métriques (niveau, étendue, volume) physico-chimiques (température, salinité, etc. ...), dynamiques (vent, vagues) que biologiques (suivi des espèces lacustres). Des commissions d'experts siègent régulièrement pour faire état de l'évolution de ces écosystèmes. De nombreuses autres régions du monde sont peu ou pas du tout pourvues de ces systèmes d'observations et de cette fédération d'efforts pour les maintenir vivants. Lorsque malgré tout, il existe des stations de mesures, les données ne sont pas diffusées. Ainsi à l'échelle globale, il n'existe pour le moment aucun système d'observation centralisé et ouvert pour la surveillance des grands lacs et réservoirs artificiels.

En 2009 nous avons travaillé dans la continuité des activités des années précédentes sur ces sujets, en tentant d'approfondir nos méthodes de traitements et d'analyses des données spatiales en nous focalisant sur un certain nombre d'objets que nous détaillerons plus loin.

3 cas d'études ont été annoncés dans la proposition initiale :

les lacs andins, les lacs d'Afrique de l'Est, et les lacs d'Asie centrale.

Durant l'année 2009 nous avons surtout avancé sur les lacs africains et avons soumis 2 publications issus des travaux fait en 2008, l'un sur le lac General de Carrera au Chili (Zambrano et al., 2009), l'un sur la mer d'Aral (Crétaux et al., 2009b).

Les lacs d'Afrique de l'Est

Les lacs d'Afrique de l'Est sont abondamment suivis par altimétrie et plusieurs études ont été publiées dans le passé sur ce sujet. Les études actuelles concernent l'analyse conjointe des mesures de hauteurs d'eau par altimétrie et de variations de volumes par gravimétrie (mission GRACE), et par modèle de surface (LSM). Plusieurs études sont en cours, dont une qui a fait l'objet d'une publication sous presse (Becker et al., 2009). Nous avons pu corrélérer les variations de niveau de 4 lacs (Victoria, Tanganika, Malawi et Turkana), avec les données de gravimétrie GRACE, des champs de pluviométrie l'Afrique de l'Est et l'océan Indien (GPCP) et un modèle de surface (WGHM). De 2000 à 2008 des modes de variabilité spatio-temporels communs ont été identifiés par analyse en composantes principales (EOF) entre les variations du champ de gravité et les précipitations. Une forte corrélation avec El Nino a été mise en évidence, et enfin la combinaison avec l'altimétrie a fourni des informations sur l'humidité des sols et les stocks d'eau souterrains (fig. 1).

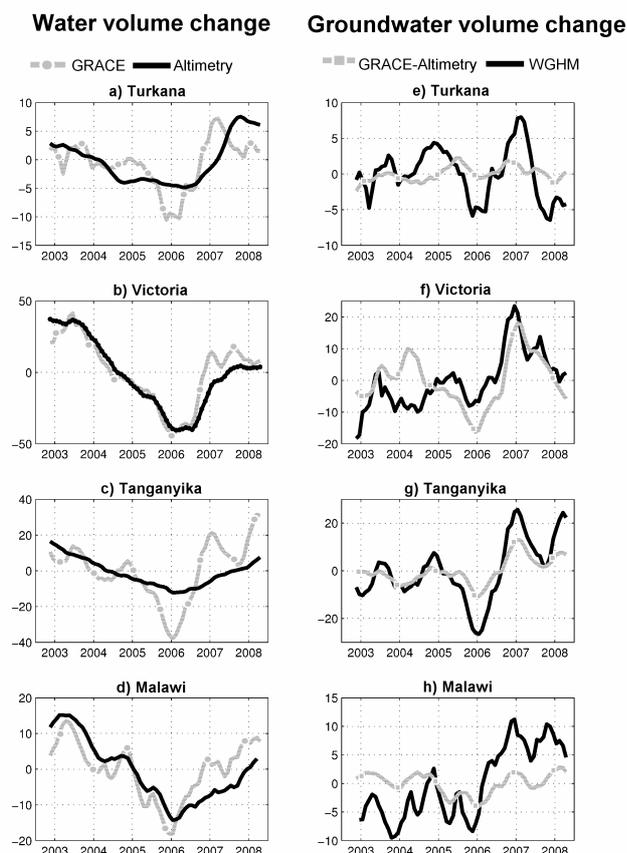


Fig. 1. Variation des stocks d'eau sur les 4 lacs présentés dans cette étude, comparaison aux données GRACE et au modèle WGHM D'après Becker et al., 2009.

Nous avons également démarré en 2009 une étude du lac Tchad par combinaison entre l'altimétrie, l'imagerie multi spectrale dans le visible et l'infra rouge (MODIS et Landsat), les champs de pluviométrie issus du satellite TRMM et des données in situ historiques de niveau

d'eau. Le lac Tchad, bassin transfrontalier (Cameroun, Tchad, Niger, Nigeria) , est un lac endoréique, peu profond, qui subit une sécheresse persistante depuis les années 70, et dont 90% des entrées proviennent du système fluvial Chari / Logone au sud. Il est séparé aujourd'hui en deux cuvettes, l'une au sud, qui conserve une zone en immersion permanente mais avec une forte variabilité spatiale d'une année à l'autre, et une cuvette nord, formée d'innombrables archipels, et asséchée plusieurs mois par an. L'inondation annuelle, provient d'un apport d'eau par le sud, lorsque les apports d'eau sont suffisants et que la cuvette sud déborde du talus qui la sépare de la cuvette nord. Les phases de remplissage vidange de ce système sont encore très mal connues et l'apport de l'imagerie permet aujourd'hui de mieux comprendre la variabilité. Nous avons analysé plus de 500 images de l'instrument Modis, une quinzaine d'images landsat, 15 ans d'altimétrie radar, et 6 ans d'altimétrie laser. Ces données ont été comparées aux mesures in situ situées dans les cuvettes sud, aujourd'hui non représentatives du remplissage de ce bassin car trop éloignées de la zone d'eau libre. Un déphasage d'environ 40 jours a en effet été détecté entre les mesures altimétriques et les mesures de terrains qui doivent maintenant être intégrées dans un modèle de bilan hydrologique du lac Tchad. Ce travail fait l'objet d'une coopération avec la maison de l'eau a Montpellier depuis le mois de février 2009. Nous avons aussi pu déceler des erreurs et approximations dans le modèle de bathymétrie historique du lac Tchad, par comparaison avec des mesures d'altimétrie laser (satellite Icesat) et avec des images satellites à différentes périodes correspondant à des niveaux d'eau variables, bathymétrie donc largement erronée et qui doit de ce fait faire l'objet d'une révision. Ce travail va continuer en 2010 et nous préparons la rédaction d'un projet ANR avec l'antenne IRD de Niamey au Niger, la maison de l'eau a Montpellier, le Cerege a Aix, et des laboratoires nigériens, et Tchadiens.

Projet SOLS (Service d'Observation des Lacs par Satellite)

Un des objectifs qui n'était pas expressément indiqué dans la proposition initiale mais qui faisait déjà l'objet d'études préliminaires, est de créer dans le cadre d'Hydroweb un centre de données dédiées aux lacs pour répondre aux besoins exprimés par la communauté scientifique internationale via le GEO et le GCOS. Un prototype de ce centre de données pour les lacs est en cours de mise en place depuis 2008.

Nous proposons donc de créer un centre d'observation basé sur un couplage entre l'altimétrie radar et l'imagerie optique et micro-ondes. L'altimétrie spatiale (Topex/Poseidon, Jason, GFO, Envisat) permet un suivi régulier (10 à 35 jours) avec une grande précision (quelques centimètres) du niveau des plus grands lacs terrestres. L'imagerie optique (SPOT-LANDSAT-MODIS) permet de détecter la présence d'eau sur Terre avec une résolution spatio-temporelle variable (quelques mètres à centaines de mètres et quelques jours). On peut donc établir assez facilement des courbes de tarage (niveau/surface) en sélectionnant quelques images satellites à des périodes où le niveau des lacs étudiés est très différent, puis d'utiliser ces courbes de tarages en combinaison avec les séries de niveau d'eau produites classiquement dans Hydroweb pour également produire les variations de surface de ces lacs (Fig. 2).

En 2008 nous avons sélectionné une vingtaine de lacs et réservoirs, de taille et de variabilité spatiale différentes. Pour ces lacs nous avons extraits un certain nombre d'images satellites (radar ou optique) de provenance diverses (Modis, Landsat 1-7, CBERS, ASAR) et avons calculé les courbes de tarage. Nous avons également utilisé des données in situ de variations de niveau pour certains d'entre eux afin de calculer la précision de l'altimétrie dans différentes configurations.

En 2009 nous avons commencé l'automatisation des chaînes de traitement et le calcul des courbes de tarages d'environ 130 lacs qui sont dans la liste prioritaire fournies par le GCOS (il y en a 150 dont les 20 qui ont servi pour le prototype en cours). En cours d'année 2010 nous prévoyons de fournir les produits du centre de données en temps quasi réel à partir des

produits IGDR de Jason-1, Jason-2 et Envisat, et en s'appuyant sur l'imagerie satellitaire pour les estimations des variations de surface des lacs considérés.

Un CDD travaille sur le sujet depuis le mois d'octobre 2009.

Ce projet est en coopération également avec l'institut d'Hydrologie de St Petersburg (SHI) en Russie, qui a en charge, au nom de l'OMM, la mise en place d'un centre de données lacs à partir de données in situ et télédétection. Les collègues russes prennent en charge la collecte et la mise en forme des données in situ, le Legos prend en charge la mise en forme des données de télédétection. Nous fournissons également des données d'étendue de glace sur les lacs pour les zones boréales (grand lacs en Russie et au Canada) ou quelques lacs d'Asie centrale recouverts de glace l'hiver (mer d'Aral, mer Caspienne, lac Balkhash, Baikal etc.) à partir de méthode de détection de ces paramètres développées au Legos ces dernières années. Nous avons participé en 2009 à 2 réunions a St Petersburg pour la mise en place de cette base de données conjointe, et décidé de cibles pour valider les produits altimétriques versus les données in situ. Il s'agit de 15 lacs de tailles variables, tous situés en Russie, et pour lesquels le SHI nous fournit les niveaux d'eau mesurés par des jauges. Un protocole d'accord entre le SHI et le Legos est en cours de rédaction. Par ailleurs l'OMM nous accompagne dans cette démarche et nous a reconnu officiellement comme participant au centre de données mondial pour les lacs (appelé Hydrolare). Nous avons également été invité par le secrétariat du groupe GEO à présenter notre centre de données lors du forum mondial de l'eau qui s'est tenu à Istanbul en mars 2009. Enfin une publication présentant ce centre et ses produits a été soumise en 2009 (Crétaux et al., 2009a).

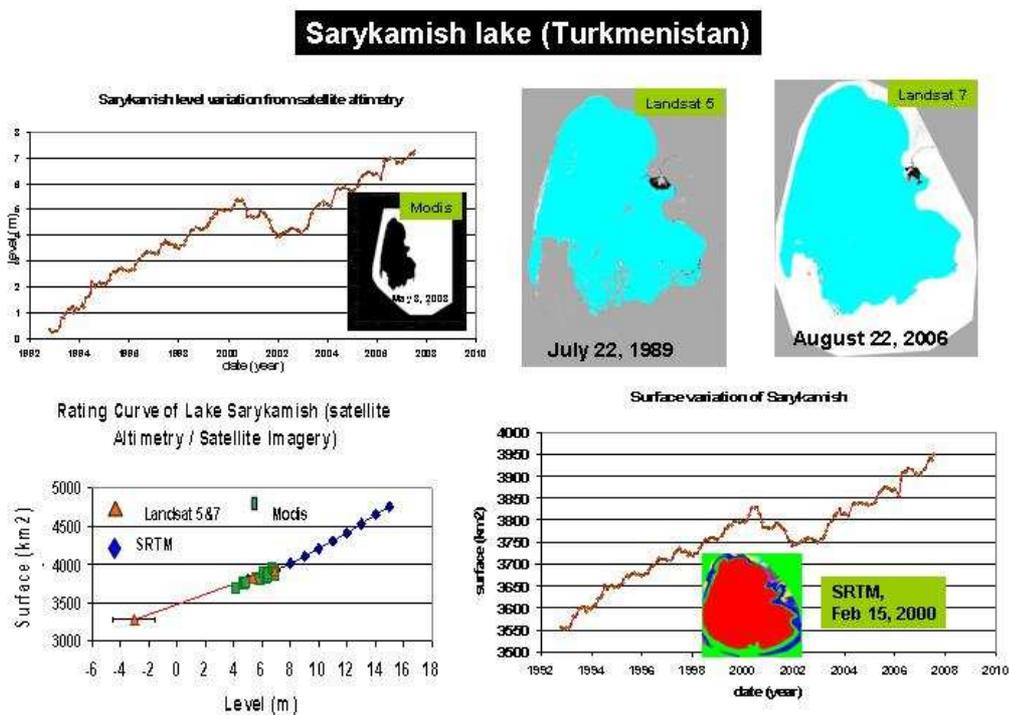


Fig. 2 : Page web type pour chaque lac dans la future base de données SOLS (Ici le lac Sarykamish qui fait partie des 20 lacs du prototype). La courbe de niveau par altimétrie, la courbe de tarage, et la courbe de surface et les données correspondantes seront délivrées. Des images satellites classifiées (classification binaire, Eau / autre) ayant servi au calcul de la courbe de tarage seront également en ligne.

2.2. Fleuves

2 grandes régions avaient été choisies pour l'étude des fleuves par altimétrie satellitaire. La Sibérie (Ob - Irtish) et le Moyen Orient (Tigre - Euphrate). Un troisième bassin fluvial a continué de faire l'objet d'études prononcées, l'Amazone. En 2009 nous avons essentiellement avancé sur le site du bassin de l'Amazone.

Les travaux en hydrologie spatiale sur le bassin Amazonien ont porté à la fois sur la validation des données altimétriques, leur utilisation pour la description du cycle hydrologique du bassin Amazonien et leur intégration dans des modèles hydrologiques.

La validation des données :

La validation des données altimétriques a été réalisée pour plusieurs missions : ERS-2, ENVISAT et JASON-2. Les travaux spécifiques à la validation des données de JASON-2 sont décrits plus en détail dans le rapport du projet TOSCA/FOAM. La validité des données ERS-2 et ENVISAT a été étudiée par comparaison interne à des points de croisement sur des fleuves, par comparaison à des séries de hauteurs lues sur des règles in-situ et par leur cohérence hydrologique (respect de la contrainte hydrologique qui veut que les hauteurs d'une règle encadrée par deux traces altimétriques soient toujours inférieures aux hauteurs de la série altimétrique amont et soient supérieures aux hauteurs de la série aval. Les résultats sont que la qualité des séries est très liée au soin apporté à leur sélection tridimensionnelle (géographique et en section) et aux corrections géométriques à apporter (effet de mesure off-nadir). Dans ces conditions, des séries d'une précision de l'ordre de 20 cm pour ENVISAT et 50 cm pour ERS-2 sont tout à fait réalisables. Ces résultats sont soumis à publication à RSE (Silva et al., soumis 2009). A noter que la méthode de cohérence hydrologique est une première étape vers un nivellement des règles par altimétrie, (en toute rigueur, le nivellement suppose que les biais altimétriques aient été déterminés pour chaque mission ; ce travail est en cours). Dans la mesure où une seule mission altimétrique est utilisée, nous montrons que des profils altimétriques longitudinaux de fleuves intégrant séries altimétriques et chroniques in-situ peuvent être obtenus, fournissant deux paramètres essentiels aux calculs des équations de St Venant : la pente de la ligne d'eau et les variations temporelles de la hauteur d'eau (article en préparation).

A l'occasion de campagnes de terrain, des profils altimétriques longitudinaux de fleuves ont été obtenus par GPS. Ces profils ont entre autres été comparés à des hauteurs altimétriques (Cheng et al., 2009).

Dans le cadre de la collaboration étroite conduite avec l'Ohio State University, une étude a été conduite sur le retracking des missions successives de la famille TOPEX-JASON (Zhang et al., soumis 2009) et le retracking en temps quasi réel des données de JASON-2 a été utilisé pour une étude préliminaire d'alerte à l'occasion de la crue historique de l'Amazone au premier semestre 2009. Une publication est en cours de rédaction.

La description du cycle hydrologique du bassin Amazonien :

Les données spatiales, d'altimétrie et de surface inondée (MODIS) possèdent l'énorme avantage de fournir de l'information là où aucune mesure n'a jamais été faite, en particulier dans les lagunes, zones humides et zones inondées temporaires ou permanentes. Cette particularité a été utilisée pour décrire les cycles au sein des grands sous bassins du bassin Amazonien (Madeira, Negro, Solimoes) et leurs relations hydrologiques (Seyler et al., 2009, Santos da Silva, soumis à RBRH 2009, Santos da Silva, soumis à IJRS 2009).

Les données de la mission GRACE fournissent des informations sur les variations spatiales et temporelles de la masse d'eau dans le bassin. Ces données ont été comparées aux données de hauteur d'eau de surface dans les fleuves. De cette comparaison, il ressort (Vaz de Almeida et al., soumis 2009) que les variations spatiales et temporelles de la masse d'eau stockée dans le sol est très liée au contexte hydrogéologique (substrat cristallin ou bassin sédimentaire).

L'intégration dans des modèles hydrologiques :

Les séries temporelles de hauteur d'eau issues de l'altimétrie satellitaire (essentiellement ENVISAT) ont été utilisées dans plusieurs travaux de modélisation de la propagation du flux dans le Rio Branco (Getirana et al., 2009).

Les séries temporelles de hauteur d'eau par altimétrie pêchent par leur sous-échantillonnage. Dans Roux et al. (à paraître 2010), nous montrons que si des données in-situ à haute fréquence sont disponibles à d'autres emplacements du fleuve, des séries journalières d'une précision décimétrique peuvent être obtenues au niveau des séries temporelles altimétriques.

Grâce à l'expertise acquise en hydrologie spatiale, l'équipe participe aux travaux de définitions de deux missions d'altimétries spatiales à venir prochainement, AltiKa et Cryosat-II.

2.3. Etude et suivi par satellite de zones d'inondation

La quantification des variations de volumes d'eau dans les zones d'inondation a été investiguée par différentes méthodes dans la littérature. Les satellites fournissent un outil irremplaçable dans ce domaine car ils offrent une vision spatialisée à des résolutions temporelles inaccessibles autrement. Nous avons commencé un travail qui permet de tirer profit à la fois d'images satellites de moyenne résolution spatiale (250-500m) et temporelle (semaine), mais sur de grandes étendues (200000 km²), et de l'altimétrie satellitaire. L'objectif étant de suivre les inondations à grande échelle comme elles peuvent se produire régulièrement dans un certain nombre de régions. L'imagerie Modis permet de détecter les surfaces inondées (donc de calculer les variations de surface d'eau) et de sélectionner correctement les données altimétriques en rajoutant un critère de prise en compte d'une mesure à un instant et à un endroit donné. Nous avons fait ce travail sur les régions suivantes :

Bassin de la Diamantina en Australie, delta intérieur du Niger, et zone d'inondations du lac Poyang en Chine.

Pour chacune de ces régions nous avons pu établir des séries temporelles de hauteurs d'eau et des cartes pour les zones inondées (avec distinguo entre eau libre, eau sur sol nu, végétation aquatique et végétation sur sol nu). Nous travaillons à des méthodes d'interprétation de ces résultats (par l'apport de données de type GRACE, de champs globaux de précipitation, de comparaison avec d'autres méthodologies, ou encore de sortie de modèles). Ces zones d'inondations seront aussi prochainement incluses dans la base de données Hydroweb lorsque les résultats seront validés et publiés.

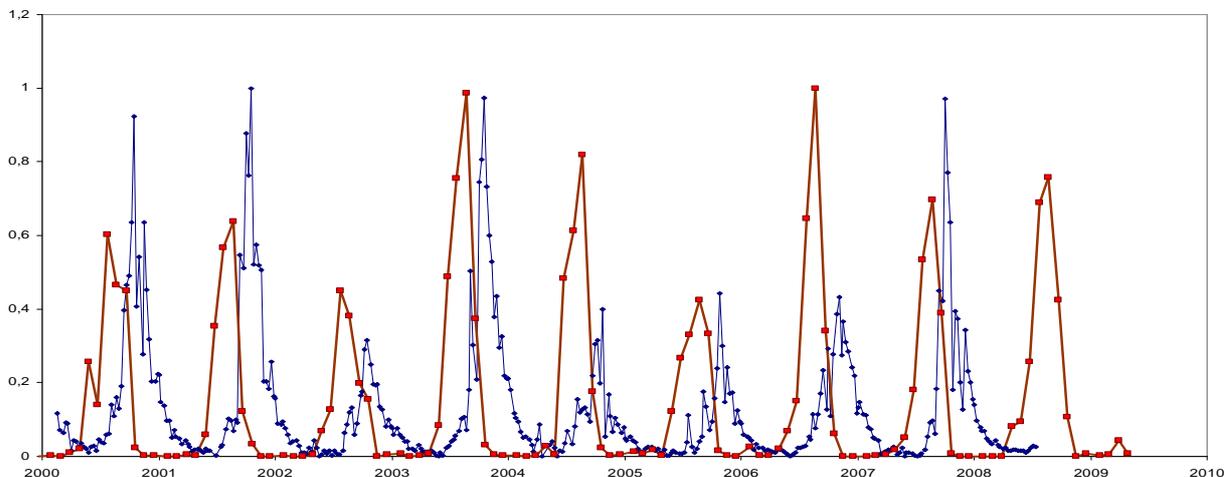
Par rapport à 2008, lorsque ce travail a démarré, nous avons soumis trois publications (Yesou et al., 2009 et Uribe et al., 2009 pour le Poyang, et Crétaux et al. ? 2009d pour la rivière Diamantina en Australie). Une publication est également en cours de rédaction (aux ³/₄ écrite) sur les nombreuses analyses faites sur le delta intérieur du Niger. Par rapport à 2008 nous avons en particulier avancé dans le domaine de l'analyse des champs de pluviométrie (déduits des données GPCP et TRMM) qui mettent parfaitement en valeur les corrélations avec la variabilité inter annuelle des inondations sur le delta intérieur c'est quoi le delta intérieur des inondations ?, et de la dynamique de la végétation. Il a en particulier pu être démontré les apports relatifs du fleuve Niger et du fleuve Bani, bien expliqué les différentes phases de crues et décrues, et nous avons achevé le développement de l'algorithme de traitement automatique des données Modis et altimétriques sur ce type de bassin.

Notre méthode fonctionne très bien en zones arides ou semi arides, mais des tests faits en 2008 sur une zone humide dans le bassin amazonien en a montré ses limites d'applications.

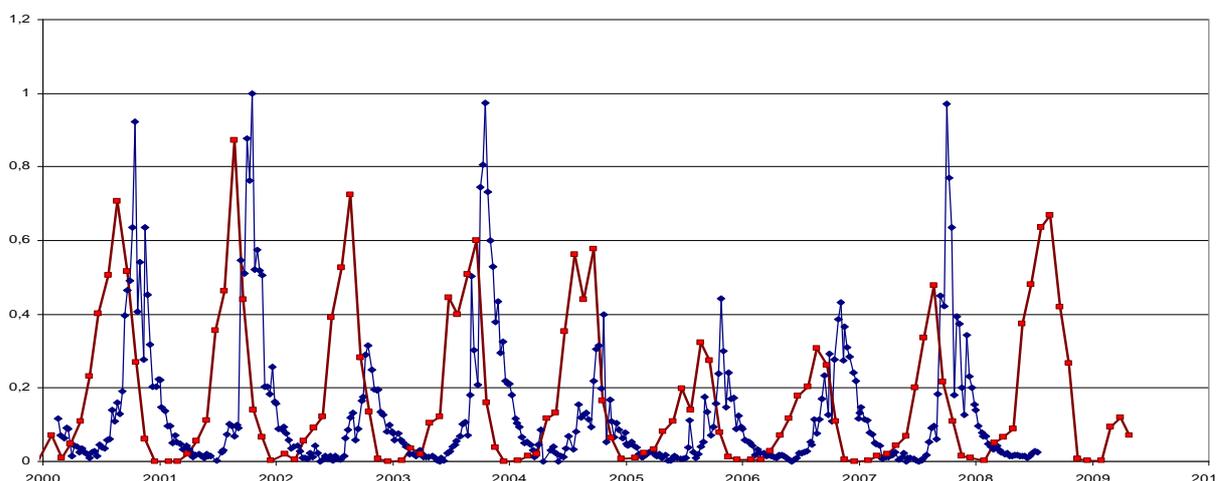
Nous continuerons en 2010 ces travaux axés sur la caractérisation des inondations à grande échelle par combinaison des données entre différents capteurs spatiaux en y rajoutant d'autres instruments tels que GRACE ou SRTM. Nous développons également des coopérations avec d'autres laboratoires sur ces sujets (Projet DRAGON-II en cours pour le lac Poyang, coopération avec la NASA et la maison de la télédétection à Montpellier sur le Niger,

coopération avec l'agence brésilienne de l'eau pour le bassin amazonien, coopération avec l'université de conception pour l'étude des salars de l'altiplano andin).

Cette même méthode a été utilisée avec succès dans l'étude du lac Tchad (cf plus haut), et nous prévoyons de la mettre en oeuvre sur le bassin de la mer d'Aral (1 million de km² inclus les fleuves Amou Darya et Syr Darya).



(a)



(b)

Fig. 3 : Précipitations normalisées sur le delta intérieur du Niger (rouge) versus inondation sur le delta intérieur (bleu) (a). Les précipitations sont en phase avec le premier pic d'inondation (courant juillet), tandis que le second pic provient essentiellement des précipitations amont sur le Niger et la Bani avec un décalage temporel d'environ un mois et demi (b)

2.4. Base de données Hydroweb

La base de données HydroWEB a été développée il y a environ 5 ans dans l'idée de fournir des séries temporelles de niveaux d'eau sur les lacs et les grands fleuves du monde à partir de l'altimétrie satellitaire. Nous cherchons en permanence à améliorer la qualité et la quantité des produits fournis sur cette base. En particulier de nombreuses comparaisons avec des données in situ de niveau d'eau sont régulièrement effectuées pour vérifier la précision des produits délivrés. Nous augmentons aussi en permanence le nombre de stations virtuelles sur les fleuves en rajoutant les données Envisat qui n'étaient pas initialement prises en compte pour ces objets.

Cette mise à jour est en cours, et en 2009 nous avons analysé les données altimétriques sur un nombre croissant de fleuves : Ganges, Mekong, Mississipi, Goddavari, Brahmapoutre, Danube, Dniepr, Nil, Rhone, Garonne, Po, l'ensemble des affluents de l'Amazonie. Cette étude est à

classer à la fois dans la proposition hydrologie spatiale, mais aussi dans la proposition Altika. En effet la base de données HydroWEB fournit au projet Altika les niveaux d'eau pour le calage du futur altimètre sur les zones humides (lacs, fleuves). Ces données sont directement intégrées dans le modèle numérique de terrain (MNT) embarqué à bord du satellite. A cette occasion la base de données intègre 1000 nouvelles stations virtuelles (lacs & fleuves) qui seront disponibles sur le site dans le courant du premier trimestre 2010. Nous pensons également rajouter des données de validations lorsque cela est possible (données de niveau in situ par exemple sur certains grands lacs ou certains fleuves). Nous compléterons par la même occasion la longueur des séries temporelles lorsque les données in situ le permettent.

HydroWEB intègre maintenant (septembre 2009) un automate pour la mise à jour quotidienne des séries temporelles des grands fleuves, basé sur le démonstrateur HySOpe (Hydrologie Spatiale Opérationnelle) conçu en 2008 par l'équipe GOHS (DCT/SI/LG). Cette mise à jour utilise en temps quasi réel les données I-GDR d'Envisat et sera étendue à d'autres missions.

Prospective HydroWEB 2010

Cet automate est en cours d'évolution pour le début de 2010 avec :

- Extension à la mission Jason-2 (I-GDR) pour les séries temporelles sur les fleuves,
- Extension à la mise à jour des séries temporelles pour tous les lacs et réservoirs à partir des données GDR dès que les cycles complets sont disponibles.
- Extension à la mise à jour pour l'ensemble des lacs (cadre SOLS/HYDROLARE, cf plus haut) et de plus, l'ensemble des nouveaux lacs traité dans le cadre de la mise à jour pour le MNT Altika sera intégré dans la base HydroWEB (environ 150 nouveaux lacs sont concernés).

3. Participants au projet

3.1. Personnel permanent

Jean-Francois Crétaux (CNES/Legos), Stephane Calmant (IRD/Legos), Anny Cazenave (CNES/Legos), Marie-Claude Gennero (CNES/Legos), Muriel Bergé-Nguyen (CNES/Legos), Sylviane Daillet-Rochette (CNES/Legos), Frédérique Seyler (IRD/US espace), Emmanuel Roux (IRD/LMTG), Fernando Nino (IRD/Legos), Rodrigo Abarca Del rio (Université de Concepcion, Chili), Marie-Paule Bonnet ((IRD/LMTG).

3.2. Etudiants

Marisol Zambrano (Thèse Université de Concepcion, co-encadrement avec le Legos), Joecilla Santos Da Silva (Thèse IRD/LMTG-LEGOS), Mélanie Becker (Post-Doc)

4. Références bibliographiques

- Seyler, F, S. Calmant, J. da Silva, N. Filizola, G. Cochonneau, M-P Bonnet, A-C Zoppas Costi ; Inundation risk in large tropical basins and potential survey from radar altimetry: example in the Amazon basin, *Marine Geodesy*, 32 (3), 303-319, DOI 10.1080/01490410903094809, 2009
- Cheng, K, S. Calmant, C. K. Shum, C-Y Kuo, F. Seyler, J. Santos da Silva; Accurate Data Collection of River stage gradient and hydrological geospatial information in the Branco River, the Amazon, A Pilot Mission, *Marine Geodesy*, 32, (3), 267-283, DOI 10.1080/01490410903094460, 2009
- Getirana A-C-V, M-P Bonnet, E. Roux, S. Calmant, F. Seyler, O. C. Rotunno Filho, W. J. Mansur, Hydrological Monitoring of Poorly Gauged Basins Based on Rainfall-Runoff Modeling and Spatial Altimetry, *J. Hydrology*, in press, 2009
- Roux, E., J. Santos da Silva, A. C V Getirana, M-P Bonnet, S. Calmant et F. Seyler, Producing time-series of river water height by means of satellite radar altimetry - Comparison of methods Produire des séries temporelles de hauteur d'eau grâce à l'altimétrie radar satellitaire - Comparaison de méthodes, *Hydrological sciences Journal.*, in press, 2010

Publications soumises:

- Santos da Silva, J., S. Calmant, O. Correa Rotunno Fliho, F. Seyler et E. Roux, Niveis de agua nas zonas umidas da bacia amazonica estimados por satellites altimetricos, soumis a RBRH, mars 2009
- M. Zhang, H. Lee, C. K. Shum, F. Schwartz, D. Alsdorf, F. Schwartz, S. Tseng, Y. Yi, Chung-Yen Kuo, Hong-Zeng Tseng, A. Braun, S. Calmant, N; Filizola and F. Seyler; Application of Retracked Satellite Altimetry for Hydraulic Studies; soumis à Int. J. Of Remote Sensing, juillet 2009
- Vaz de Almeida, F., S. Calmant, F. Seyler, G. Ramillien, D. Blitzkow, A. C Matos, J. Santos da Silva, Time variations of Equivalent water heights from GRACE mission and in-situ river stages in the Amazon basin, soumis à EPSL, juin 2009
- Santos da Silva J., O. Rotuno Filho, F. Seyler, S. Calmant, E. Roux, A. Araujo, Water level dynamics of Amazon wetlands at the Watershed Scale by satellite altimetry, soumis à International Journal of Remote Sensing, nov 2009
- Santos da Silva J., S. Calmant, O. Rotuno Filho, F. Seyler, G. Cochonneau, E. Roux, J. W. Mansour, Water Levels in the Amazon basin derived from the ERS-2 and ENVISAT Radar Altimetry Missions, soumis à Remote Sensing of the Environment, sept. 2009
- Crétau J-F, V. Jelinski, S. Calmant, A. Kouraev, V. Vuglinski, M. Bergé-Nguyen, M-C Gennero, F. Nino, R. Abarco Del Rio, A. Cazenave, P. Maisongrande, SOLS, a lake database to monitor in Near real time water level storage variations from remote sensing data, Advanced Space research, submitted, 2009a
- Crétau J-F., R. Letolle, A.V. Kouraev, Aral Sea level variability, Handbook of environmental chemistry, Vol 5 Water pollution, Ed A.G. Kostianoy, A.N. Kosarev, (invited papers) in press, 2009b
- Crétau J-F, M. Leblanc, S. Tweed, S. Calmant, and G. Ramillien, combination of radar and laser altimetry, MODIS and GPS for the monitoring of flood events : application to the Diamantina river, submitted, Remote Sensing of Environment, 2009c
- Crétau J-F, S. Calmant, R. Abarca Del Rio, A. Kouraev, and M. Bergé-Nguyen, Lakes studies from satellite altimetry, invited papers, in press, Handbook on Coastal altimetry, Springer ed., chap. 19, 2009d
- Kouraev A. and J-F Crétau, Aral Sea Ice conditions from historical and satellite observations, Handbook of environmental chemistry, Vol 5 Water pollution, Ed A.G. Kostianoy, A.N. Kosarev, (invited papers) in press, 2009a
- Kouraev A.V., J-F Crétau, S.A. Lebedev, A.G. Kostianoy, A.I. Ginzburg, N.A. Sheremet, R. Mamedov, E.A. Zhakharova, L. Roblou, F. Lyard, S. Calmant, M. Bergé-Nguyen, The Caspian Sea, , invited papers, in press, Handbook on Coastal altimetry, Springer ed., chap. 19, 2009b
- Llovel W., K. DoMinh K., A. Cazenave, Crétau J.F., M.C. Gennero and M. Becker, Contribution of land water storage change to global mean sea level from GRACE and satellite altimetry, in press to C.R. Geosciences, 2009
- Zambrano G., R. Abarca Del Rio, J-F. Crétau, B. Reid, First Insights on Lake General Carrera / Buenos Aires/ Chelkeno water balance, in press in Advance in geoscience, 2009
- Uribe C., Li J., Daillet S., Xiaoling C., Bergé-Nguyen M., Li X., Crétau J-F., Hubert C., Lai X., Marie T., Huang S., Andreaoli R., and Yesou H., Monitoring of the largest Chinese inland lakes within the ESA-MOST DRAGON project using jointly ENVISAT image time series and altimetric data: case of Dongting and Poyang lakes, proceeding of ILEC conference, Wuhan, in press, 2009
- Becker M., W. Llovel, A. Cazenave, A. Güntner, J-F Crétau, Recent hydrological behaviour of the East African Great Lakes region inferred from GRACE, satellite altimetry and rainfall observations, in press to C.R Geosciences, 2009
- Yésou H., J. Li, S. Daillet, X. Lai, M. Bergé-Nguyen, X. Chen, S. Huang, J-F Crétau, C. Hubert, T. Marie, J. Li, R. Andreoli, C. Uribe, Large Inland lakes monitoring exploiting jointly Envisat low and medium resolution image time series and altimetric data: Case of Poyang and Dongting lakes (P.R. China) from 2000 to 2008 within Dragon project, submitted to proceedings of "Earth observation and the water cycle", Frascati, 2009

4.2. PHÉNOMÈNES COTIERS

1. Introduction

L'intérêt du SHOM pour les phénomènes côtiers se manifeste essentiellement dans le domaine de la marégraphie, la modélisation hydrodynamique et l'harmonisation des références verticales pour l'hydrographie et les altitudes terrestres.

Les travaux relatifs à la marégraphie sont traités séparément (cf 1.3 et 3.2.6).

2. Modèles de marée

Le SHOM utilise la modélisation numérique à l'aide du système TELEMAC (EDF/LNHE, SOGREAH) pour améliorer ses modèles de marée. Ainsi, les modèles de marée sont mis en place à partir de l'interpolation des données issues de la modélisation et des résultats issus de l'analyse des mesures marégraphiques.

La mise à jour du modèle de marée des côtes Manche et Atlantique s'est poursuivie en 2009. Le modèle de marée est mis en place à partir d'un nouveau modèle numérique, le maillage est présenté Fig. 2. Une simulation est réalisée sur un an, l'analyse harmonique des résultats permet de calculer les constantes harmoniques qui sont ensuite ajustées aux mesures (collaboration avec la société SOGREAH, Grenoble). Un modèle de marée est également développé en Méditerranée, aucun modèle de marée satisfaisant n'était disponible dans cette zone. Ces modèles devraient être disponibles courant 2010.

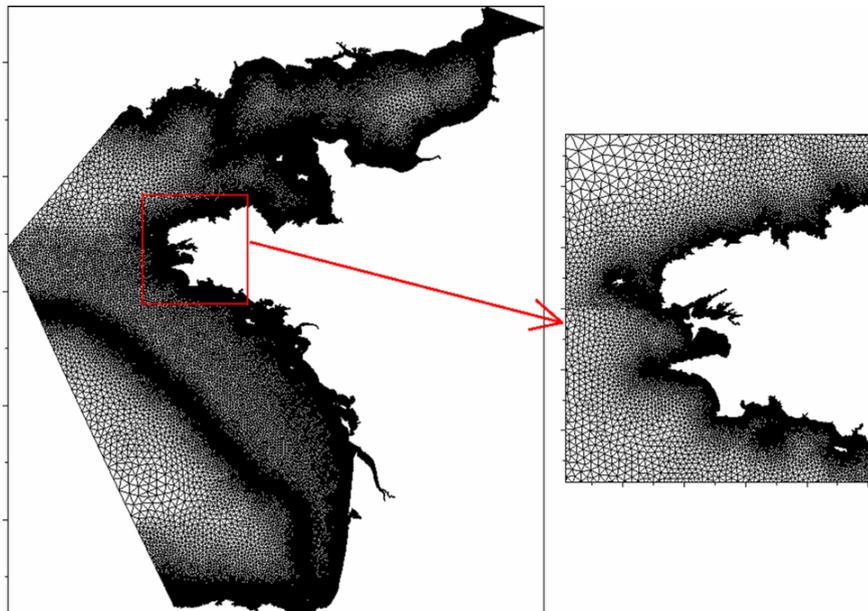


Fig. 2 : Grille en éléments finis du modèle de marée sur les côtes Manche et Atlantique

Un axe de développement en modélisation est la comparaison des modèles existants et utilisés au SHOM. Ainsi, une étude a été initiée en 2009 sur la comparaison de HYCOM (développé par un consortium auquel le SHOM appartient) et de Telemac (EDF-LNHE).

3. Références verticales, projet BATHYELLI

Le projet BATHYELLI a pour but de coter le zéro hydrographique sur l'ensemble des côtes métropolitaines dans un repère stable, précis et accessible. Ce projet, initié en 2005, se poursuit ; il devrait s'achever début 2010.

La campagne de mesures a porté sur 20 sites, qui ont été réalisés en 2007-2008.

3.1. Levés GPS en 2009

Le traitement des données GPS s'est poursuivi. Pour chaque zone, les levés GPS ont été traités pour en déduire le niveau moyen :

- correction des données d'attitude si nécessaire,
- filtrage des données,
- correction de la marée et des effets météorologiques,
- retranchement de la hauteur de l'antenne GPS par rapport au niveau de la mer.

Les 4 derniers levés ont été traités en 2009 : Roscoff, Cherbourg, Le Conquet et Nice. Fin 2009, l'ensemble de la campagne GPS, qui s'est déroulée en 2007-2008, a été traité.

3.2. Calcul des surfaces de référence en hydrographie

Le calcul des surfaces de référence s'est achevé en octobre 2009 (collaboration avec la société Noveltis, Toulouse). Le calcul de la Surface Moyenne Hydrographique (SMH) est basé sur l'interpolation de la SMH issue de l'altimétrie spatiale (calculée en 2007), des données marégraphiques et des levés GPS du niveau moyen de la mer.

Sur les grilles Manche-Atlantique et Méditerranée, sont disponibles les surfaces suivantes :

- Surface Moyenne Hydrographique,
- Zéro Hydrographique,
- Ellipsoïde GRS80 de l'ITRS,
- Niveau des Plus Basses Mers Astronomiques,
- Niveau d'Equilibre (niveau moyen sur la plus longue période disponible),
- Géoïde,
- IGN69.

Les erreurs associées aux surfaces de référence ont également été calculées. La surface Zéro Hydrographique doit encore être améliorée en 2010 car certains levés GPS n'ont pu être intégrés, pour des raisons de délais.

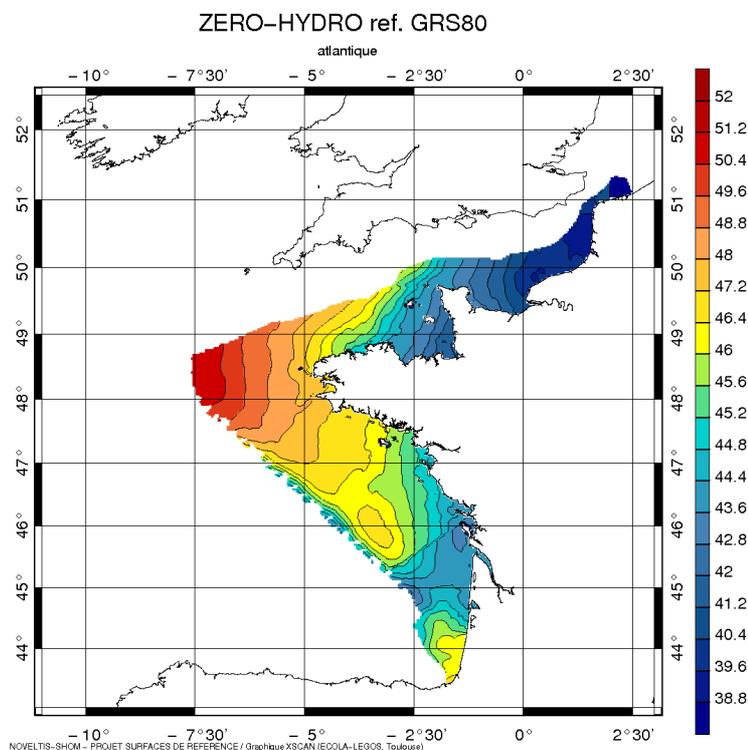


Fig. 3 : Zéro Hydrographique par rapport à l'ellipsoïde GRS80 de l'ITRS (la bordure Sud crénelée est uniquement un effet graphique sur le logiciel graphique XScan)

3.3. Réalisation d'un logiciel de changement de référence verticale

Le SHOM va développer un logiciel permettant de changer de référence verticale marines. Les spécifications du logiciel ont été réalisées en 2009. Le marché sera passé en 2010, le logiciel devrait être disponible en 2011.

3.4. Tests GPS

Des tests ont été menés en zone hauturière pour améliorer le traitement des données lorsqu'on s'éloigne de la station de référence. L'exploitation des résultats a été réalisée en 2009. Elle devrait se prolonger en 2010.

L'utilisation d'une bouée GPS pour le calcul précis de la hauteur d'antenne GPS du bateau est à l'étude, dans le cadre du projet 'NMER' du GRGS.

4. Participants au projet

Marie-Françoise Lalancette (ISC), SHOM
 Didier Rouxel (ISC), SHOM
 Lucia Pineau (ISC), SHOM
 Yann Dupont (IETA), SHOM
 Marie Protat (IETA), SHOM
 Julien Simon (IETA), SHOM
 Guy Wöppelman, Université de la Rochelle
 Fabien Lefèvre, CLS
 Philippe Schaeffer, CLS
 Gwenaëlle Jan, Noveltis
 Guilhem Moreaux, Noveltis
 Jérôme Helbert, Noveltis

5. Références bibliographiques

- L. Pineau-Guillou, 2009, « Projet BATHYELLI : détermination du zéro hydrographique à partir de l'altimétrie spatiale et du GPS », Navigation, Vol.57, n°226
- M.F. Lequentrec-Lalancette, D. Rouxel, L. Pineau-Guillou, « Comparison of GPS and gravity data on french coastal zones », Poster présenté à l'IAG2009
- G. Jan, G. Moreaux, J. Helbert, 2009, « Surfaces de référence - Rapport d'avancement n°2 », Rapport pour le SHOM
- G. Jan, F. Crespon, « Détermination des surfaces de référence pour l'hydrographie », Rapport final pour le SHOM

4.3. GLACES

1. Introduction

L'équipe Glace et Neige du GRGS s'intéresse aux calottes polaires et aux glaciers. Ces éléments sont à la fois acteurs et témoins des variations climatiques, et contiennent aussi la mémoire climatique de la terre. Un de nos objectifs est l'estimation de leur équilibre, ainsi que leur contribution potentielle aux variations du niveau de la mer. Nous développons aussi dans l'équipe des modèles et des techniques d'observations permettant de comprendre les processus qui régissent ces différentes composantes.

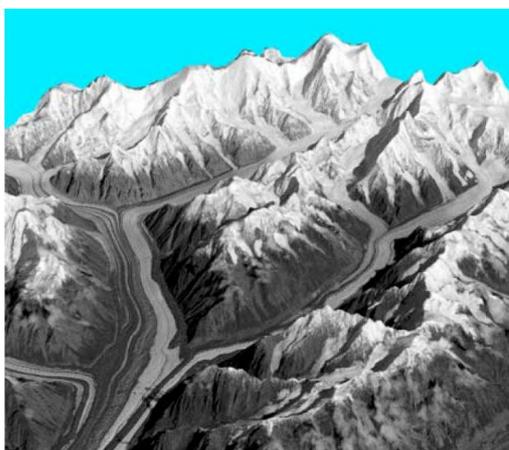
L'activité de l'équipe se concentre autour de la télédétection des calottes polaires ou des glaciers. L'année dernière nous avons détaillé des travaux menés dans le cadre de l'année polaire internationale, notamment le projet SPIRIT de cartographie des zones polaires par Spot5 HRS. Cette année nous focalisons sur une étude des glaciers de l'Alaska et sur les travaux du groupe Oscar.

2. Les glaciers de l'Alaska

On sait que la majorité des glaciers perd de la masse. Il est important de quantifier correctement cette perte. En collaboration avec des collègues canadiens et américains, notre équipe intéressée aux glaciers de l'Alaska et du nord du Canada, qui occupent une surface de 90 000 km², glaciers où les pertes sont les plus importantes. Nous avons établi un inventaire des images des satellites disponibles sur la région, notamment les données du projet SPIRIT, mais aussi du capteur ASTER (projet GLIMS/NASA) et les avons comparé avec les cartes des années 1950-60, pour mesurer les pertes des trois quarts des glaciers d'Alaska avec un très bon échantillonnage spatial. Cette étude montre que la contribution de ces glaciers à la hausse du niveau marin pour la période 1962-2006, est de 0.12 mm/an.

Ce travail montre aussi que les estimations précédentes étaient largement surestimées puisqu'elles avançaient une contribution de 0,17 mm/an. Il a ainsi mis en évidence des biais méthodologiques, notamment dus à l'utilisation de laser aéroporté le long de profils longitudinaux et à la non prise en compte de l'impact des débris rocheux qui recouvrent certaines langues glaciaires et les protègent de la radiation solaire (et donc de la fonte).

Notre article confirme que l'amincissement des glaciers d'Alaska est très hétérogène et démontre qu'il est difficile d'échantillonner ces structures spatiales complexes à partir de quelques mesures de terrain ou profils altimétriques, d'où l'intérêt d'utiliser des images telles que celles fournies par SPIRIT.



Le glacier Barnard, au cœur de la chaîne de montagne des Saint Elias (Alaska). Cette vue en relief, déduite des données du satellite SPOT 5, souligne l'importance des débris qui recouvrent les parties basses des glaciers.

© CNES 2007/Distribution Spot Image/Traitement LEGOS

3. Oscar (Observations des Surfaces Continentales par Altimétrie Radar)

Le projet se concentre sur l'expertise altimétrique, l'exploitation scientifique de l'instrument, la recherche d'objectifs nouveaux, et la préparation à la définition ou exploitation des altimètres du futur (Cryosat, Altika, CFOSat, radar bande P). Il s'agit, de façon générale, d'exploiter toutes nouvelles caractéristiques actuelles ou futures de l'altimétrie au sens large (de la haute fréquence d'Altika à la basse fréquence des radar bande P), d'exploiter les caractéristiques des nouveaux concepts (du laser d'Icesat à la synthèse de Cryosat-2 ou des "bursts" d'Envisat) ou les nouvelles perspectives offertes par exemple par l'altimétrie bi-fréquence ou des nouvelles méthodes de retraitement des échos altimétriques. Enfin, il s'agit toujours d'améliorer au maximum la mesure altimétrique continentale et polaire.

Depuis l'année dernière, la validation des cycles d'ERS-2 et d'ENVISAT sur l'Antarctique est disponible et accessible à la communauté scientifique sur le site : <http://www.legos.obs-mip.fr/fr/equipes/glacio/oscar/projetoscar.html>.

Tout utilisateur peut avoir connaissance de la qualité des données altimétriques sur l'Antarctique, cycle par cycle. La chaîne de traitement qui comprend différentes corrections en particulier celle due à la mauvaise répétitivité de l'altimétrie ou celle due à la variation de la mesure causée par les changements des caractéristiques du manteau neigeux est appliquée à chaque orbite. Le résidu de tous les paramètres par rapport à leur valeur nominale donne un critère de confiance sur la donnée. Cette validation nous a ainsi permis de mettre en évidence des sauts importants dans la correction de troposphère sèche qui conduisent à des artefacts géographiques sur l'estimation du bilan de masse en Antarctique et au Groenland. Un article est en court de rédaction sur le sujet dans lequel nous proposons à la communauté scientifique concernée une nouvelle correction.

Enfin, nous venons de répondre à l'appel d'offre pour l'utilisation des données de l'altimètre Altika, en bande ka (36 Ghz, soit une fréquence trois fois plus haute que la celle de la bande ku couramment utilisée pour l'altimétrie). Nous avons déposé le projet Kassis (Ka Survey of Snow and Ice Surfaces) dans lequel nous proposons d'exploiter la synergie actif/passif du radiomètre et de l'altimètre, tous deux en bande ka et à visée au nadir, et ce, sur les surfaces enneigées ou englacées.

4. Participants au projet

Permanents : E. Berthier, F. Blarel, B. Legrésy, M. Llubes, F. Rémy,

Doctorants: G. Autret (2006-), S. Parouty (2006-2009), G. Navas (2007-), L. Lescarmontier (2008-)

Contractuel et post-doc : Martin Horwath (2008-2010)

5 - GEODÉSIE PLANÉTAIRE

- 5.1. Champ de gravité Martien
- 5.2. Missions Système solaire
- 5.3. Thermosphères planétaires

5.1. CHAMP DE GRAVITÉ MARTIEN

1. Introduction

Après la publication début 2009 de notre champ de gravité de Mars (MGGM08A), nous avons continué nos travaux sur le champ variable et notamment les variations du C20 et C30 dues aux transferts saisonniers de masse (sublimation/condensation du CO₂) entre les calottes polaires et l'atmosphère.

Cette activité est conduite en coopération entre l'équipe du GRGS-Toulouse (G. Balmino, J.-C. Marty, N. Valès) et l'Observatoire Royal de Bruxelles, ORB (P. Rosenblatt et Sébastien Lemaître).

Les travaux utilisent les observations de trajectographie des missions américaines Mars Global Surveyor (MGS) et Mars Odyssey (MODY), collectées par les stations du réseau DSN de NASA-JPL. Nous avons en plus rajouté les données du satellite MRO (Mars Reconnaissance Orbiter)

La figure 1 montre les variations temporelles de C20 et C30 sur la période traitée. Si le C20 observé ne montre aucun signal clair, le C30 est lui bien restitué et de manière très cohérente avec les données de MRO.

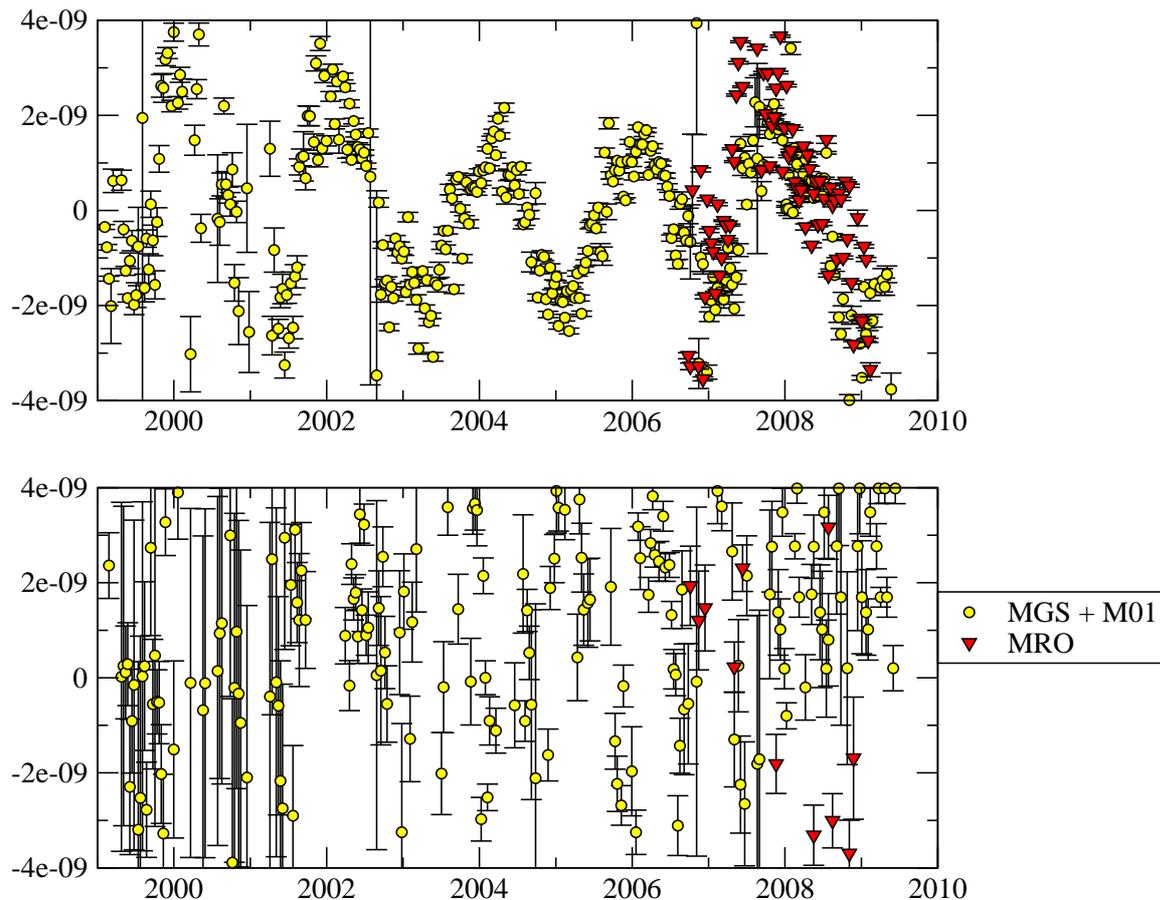


Fig. 1. Variations temporelles du C20 en haut et C30 en bas par rapport à la valeur du champ MGGM08A, calculées avec la totalité des données MGS et ODY(en jaune) et les données MRO en rouge).

5.2. MISSIONS SYSTÈME SOLAIRE

1. Champ de gravité de Churyumov-Gerasimenko (mission ROSETTA)

L'objectif de nos études est d'analyser les possibilités de restitution du champ de gravité de Churyumov-Gerasimenko (67P) par l'analyse des perturbations d'orbite de Rosetta. Ce travail est fait grâce aux données de radioscience collectées par l'expérience RSI à bord du satellite. Pour toutes ces études on utilise le logiciel GINS.

Une étude plus approfondie a été menée cette année en introduisant dans GINS une version préliminaire d'un modèle de dégazage de la comète.

On a pu ainsi estimer quels coefficients du champ de gravité nous pourrions estimer par la méthode classique des perturbations d'orbite. Nous avons pris en compte les perturbations suivantes sur la trajectoire de Rosetta autour de la comète :

- champ de gravité
- pression solaire
- dégazage
- erreur de positionnement de la comète

Nous avons simulé des différentes phases d'approche de Rosetta avec de orbites de 20, 10 et 5km de demi-grand axe. Le résultat est synthétisé dans le tableau ci-dessous montrant l'erreur sur les premiers coefficients du champ. On peut voir que à cause de l'altitude importante du survol de la comète seuls les premiers coefficients du champ pourront être restitué.

	Sans orbite à 5km	Avec orbites à 5km
C20 error	80%	30%
C22 error	150%	30%
Degree 3	-	70%

Nous avons aussi collaboré avec les équipes CNES en charge de la trajectoire de descente de l'atterrisseur pour comparer et produire des champs de gravité pour leurs modélisations à partir de modèles de formes de la comète. Ces modèles ont été produits sous forme d'harmoniques sphériques ou de polyèdres, ces derniers permettant de modéliser de manière stable le champ de gravité jusqu'à la surface de la comète.

Ce travail a donné lieu à une présentation lors du SWT Rosetta à l'ESRIN en Juin 2009.

2. Références bibliographiques.

J.C. Marty (CNES Toulouse), G. Balmino (CNES, Toulouse) Toulouse, J. Duron (ORB), P. Rosenblatt (ORB), S. Le Maistre (ORB), A. Rivoldini (ORB), V. Dehant (ORB), T. Van Hoolst (ORB), Martian gravity field model and its time variations from MGS and Odyssey data, Planetary and Space Science, doi: 10.1016/j.pss.2009.01.

5.3. THERMOSPHERES PLANÉTAIRES

1. Thermosphère terrestre

Le satellite allemand CHAMP, lancé le 15 juillet 2000, est toujours en opération. Sa rentrée dans l'atmosphère est dorénavant prévue pour la fin 2010 compte tenu de la longueur exceptionnelle du minimum solaire. La densité totale de la thermosphère terrestre est dérivée des mesures de l'accéléromètre embarqué STAR depuis le début de la mission ; la série temporelle des paramètres d'étalonnage ainsi que la base de données atmosphériques, qui couvrent actuellement la période de 2001 à mai 2009, ont été mises à jour par deux fois en 2009. Pour GRACE, les paramètres d'étalonnage et les densités ont été mises à jour également, et la série temporelle couvre actuellement la période de 2003 à décembre 2008.

Afin d'obtenir les densités à plus haute altitude, typiquement à 800 km, et le constituant hélium en particulier, le logiciel GINS a été adapté pour traiter les satellites tels Starlette et Stella et archiver les facteurs d'échelle du modèle de densité thermosphérique utilisé a priori dans le calcul semi-dynamique d'orbite. Ces facteurs ont été estimés grâce aux mesures de suivi laser des orbites des satellites Starlette et Stella, sur la période de 1994 à avril 2009.

Le groupe thermosphère national n'a toujours pas pu faire le choix d'un (des) indice d'activité solaire, mais une étude a été menée à Orléans et Toulouse. La stratégie de modélisation pour la prochaine version de DTM, décidée en 2008, a été appliquée dans la création du nouveau modèle DTM-2009. Ce modèle a assimilé les données de CHAMP, GRACE, Starlette, Stella ainsi que toutes les données historiques et sera utilisé comme modèle a priori, fin 2010, pour élaborer la prochaine version officielle de DTM. Les performances du modèle, malgré l'utilisation des anciens indices F10.7 et am, sont excellentes et meilleures que celles des modèles MSIS ou JB2008.

La collaboration avec l'Université de Colorado à Boulder (UC) s'est poursuivie en 2009 sur des études portant sur les ondes gravitationnelles (les « traveling atmospheric disturbances »), les marées, et la variabilité de la thermosphère pendant le minimum solaire en particulier. La collaboration avec les universités de Kyushu et Tohoku au Japon s'est également poursuivie en 2009, portant sur les marées, les ondes de gravité, et leur interaction.

2. Thermosphères planétaires

En ce qui concerne les thermosphères planétaires, nous avons commencé à retraiter les orbites des sondes MGS et Mars Odyssey avec le GSFC afin de créer une série temporelle de 1999 à 2009, incorporant les maximum et minimum étendu du cycle solaire. Malheureusement il reste encore certains problèmes non résolus dans l'estimation des paramètres de la pression solaire et du frottement en 2008 et 2009.

La première campagne VExADE (Venus Express Drag Experiment) en collaboration avec l'Observatoire Royal de Belgique et l'Imperial College London, s'est déroulée en octobre 2009. Elle a consisté à un suivi dédié de Venus Express pendant une semaine avec des observations bien réparties autour du péricentre pour l'estimation des paramètres de frottement. Nous avons pu dériver 6 valeurs de densité à 85°N et environ 180 km d'altitude. Ces valeurs ont été comparées aux observations à plus basse altitude (par autre instrument), et nos résultats sont cohérents (figure 1 ci-dessous). Les prochaines campagnes VExADE se dérouleront en février et en avril 2010.

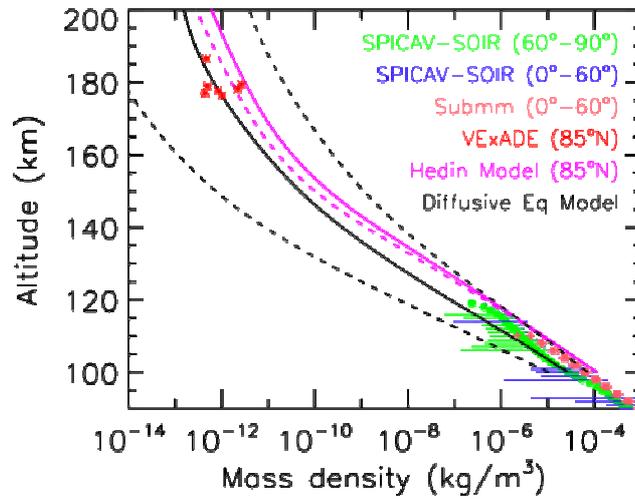


Figure 1 : les densités vénusienne de VExADE à 180 km (en rouge) sont comparées ici à celles de SPICAV à 100 km, au modèle VTS de Hedin, et à un modèle simple (en noir).

6 - PHYSIQUE FONDAMENTALE, ÉTUDE DE L'UNIVERS

- 6.1. Test du principe d'équivalence
- 6.2. Transfert de temps par lien laser
- 6.3. Effet Pioneer et flyby

6.1. TEST DU PRINCIPE D'ÉQUIVALENCE

1. Statut de la mission MICROSCOPE

La mission spatiale MICROSCOPE a pour objectif le test du principe d'équivalence à mieux que 10^{-15} (plus de 100 fois mieux que les expériences au sol) à l'aide d'accéléromètres spatiaux. Elle est développée dans une coopération CNES, ESA, ONERA, GRGS/OCA dans le cadre de la filière Myriade (microsatellites) du CNES.

La charge utile de MICROSCOPE (constituée de deux accéléromètres différentiels) développée par l'ONERA est en phase C.

En ce qui concerne le satellite, la propulsion par Gaz froids (comme celle qui est envisagée pour la mission GAIA) est à l'étude comme alternative possible à la propulsion électrique (comme envisagée sur LISA Pathfinder). Ceci nécessite une nouvelle étude de phase B pour le satellite.

2. Travaux sur l'analyse des performances

Dans le cadre du groupe « performances » nous avons continué à étudier l'impacte de différentes perturbations.

2.1. Impact éventuel des craquements MLI

La surface extérieure du satellite, recouverte de MLI (Multi-Layer Insulation), subit d'importantes variations de température au cours d'une révolution orbitale. Dans le cas des matériaux standards utilisés pour le MLI, il a été montré que ces variations de température induisent des craquements qui pourraient transmettre une variation d'impulsion au satellite et finalement générer un signal accélérométrique perturbateur. D'autres MLI ont été testés, et les signaux générés lors de ces expériences ont été analysés et discutés au sein du groupe performance pour choisir le matériau le plus adapté pour la mission MICROSCOPE.

2.2. Etalonnage

Comme tout instrument de métrologie, les accéléromètres différentiels utilisés pour l'expérience MICROSCOPE ne délivrent leurs performances ultimes qu'après étalonnage. Les paramètres à étalonner sont les facteurs d'échelle linéaires et quadratiques, les couplages entre axes, les alignements des senseurs, et à un degré moindre, les biais. Pour certains de ces paramètres, il s'agit simplement de vérifier que les imperfections sont conformes aux spécifications de constructions, ce qui assure une performance suffisante ; pour d'autres paramètres, nous savons que les valeurs de construction ne devraient pas assurer des performances suffisantes, et les résultats de l'étalonnage seront utilisées pour corriger le signal perturbateur. Dans le cadre des études du groupe performance, nous avons mené à bien la définition détaillée des différentes sessions d'étalonnage (configuration du contrôle d'attitude et d'accélération du satellite, du contrôle du mouvement des masses d'épreuve, durée de la session de mesure, bilan d'erreur sur les paramètres d'étalonnage).

3. Logiciels d'analyse

L'OCA est chargé de développer une partie des logiciels d'analyse qui seront intégrés au centre de mission scientifique de MICROSCOPE qui aura pour rôle d'étalonner et de valider les mesures, puis de les distribuer à la communauté dans un second temps.

Les principales fonctions à fournir sont :

L'analyse des sessions d'étalonnage pour en déduire les paramètres utiles à la correction des mesures (décentrages des masses d'épreuve, alignements et couplages entre axes des instruments) .

Le calcul, le long de l'orbite de MICROSCOPE, de l'accélération et du gradient de gravité.

La correction des effets du mode commun, dans les accélérations différentielles.

La correction des effets du gradient de gravité dans les mesures d'accélération différentielles.

Les trois dernières fonctions ont été développées en 2008. Le développement de la première fonction a débuté en 2009 mais doit attendre la finalisation des travaux du groupe performance sur ce sujet pour être développée plus en détail.

4. Participants au projet

P. Berio	IR
M. Lapie	IR (CDD CNES)
G. Métris	Chercheur

5. Références bibliographiques

G. Métris, 2009, Les repères dans le projet MICROSCOPE : point de vue de la simulation et de l'analyse des données. Note technique MICROSCOPE MIC-OCA-0017.

6.2. TRANSFERT DE TEMPS PAR LIEN LASER

1. Introduction

L'année 2009 a été consacrée d'une part à la mise en place des équipements sol de transfert de temps entrant dans le projet T2L2 (télémétrie laser, GPS et Two-Way, et systèmes horaires) ainsi qu'à la réalisation d'une première campagne entre l'Observatoire de Paris et Grasse (en octobre-novembre), et d'autre part au traitement des données sol de Télémétrie Laser et spatiales T2L2.

2. Kit (électronique) d'étalonnage

Le kit T2L2 est une instrumentation de photo détection et chronométrie adaptée au projet T2L2. Cette instrumentation a 2 objectifs :

- Permettre aux stations laser participante à T2L2 de s'équiper d'un dispositif de chronométrie capable de dater de façon exacte les événements laser
- Permettre d'étalonner les équipements de télémétrie laser et de transfert de temps radio électrique avec un instrument unique

Un premier contrat de collaboration de recherche pour mettre au point le prototype de cet instrument a été signé courant 2009 entre le CNRS, l'université et la société Phusipus Intégration. Un deuxième contrat de recherche a été signé début 2010 pour la réalisation de 2 modèles récurrents.

L'instrument est contenu dans un châssis 4U (figure 1). Il intègre 2 dateurs, une synthèse de fréquence, les alimentations et un PC embarqué chargé de transformer les données brutes en date, de piloter différents types de mesures, de mettre à disposition un interface utilisateur et une interface réseaux pour le pilotage à distance. Le châssis est conçu pour accueillir jusqu'à 4 dateurs, un module d'horloge et une synthèse de fréquence. Les caractéristiques de cet instrument sont les suivantes : erreur de répétabilité : 0.6 ps rms ; temps mort 120 ns, bande passante des entrées commune 8 GHz ; fréquence de la synthèse 500 MHz ; fréquence d'entrée 1 à 250 MHz ; bande passante de l'entrée optique 20 GHz. Le prototype est actuellement en phase de recette.



Fig 1 : Kit T2L2. De gauche à droite : face arrière avec les modules de métrologie et les entrées sorties réseaux, USB,... ; vue de dessus avec alimentation et PC embarqué ; logiciel embarqué

3. Validation du transfert de temps

3.1. Modèle instrumental

Le modèle instrumental est l'ensemble des considérations qui doivent permettre de traduire les données brutes de l'instrument spatial T2L2 en données intelligible et corrigées. Même si le modèle doit encore évoluer il y a désormais un modèle complet qui prend en compte :

- Les paramètres de résolution des dates
- La sensibilité du temps de transit de la photo détection en fonction de l'énergie
- La sensibilité du temps de transit de la photo détection en fonction de l'attitude (Fig 2)
- La traduction des télémessures de flux en albédo terrestre
- La traduction des télémessures d'énergie laser en densité surfacique d'énergie

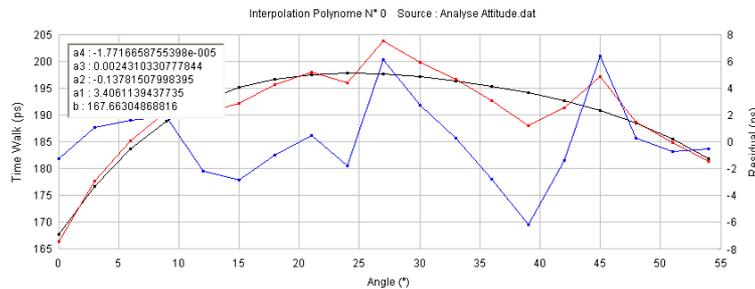


Fig 2 : Résidus en ps du temps de transit de la photo détection en fonction de l'angle d'incidence

3.2. Transfert de temps sol-espace

Le traitement du transfert sol espace implique :

- le filtrage des données bord
- la mise en place du modèle instrumental
- l'interpolation des données sol (minimisation du bruit et reconstitution des faux triplets)

Les transferts réalisés avec des masers à hydrogène au sol nous permettent de mesurer les performances du lien sol espace. La stabilité mesurée est typiquement de l'ordre de 10 ps @ 30 s. Cela correspond à la stabilité de l'horloge spatiale (Quartz DORIS). C'est le meilleur transfert sol espace jamais réalisé à ce jour.

3.3. Transfert de temps sol-sol

Une campagne de transfert de temps entre les 2 stations MeO et FTLRS en colocation sur le site de Calern a été menée en juin 2009. Les 2 stations étaient alimentées par un étalon primaire commun (HP 5071A) de telle sorte que les différences individuelles des transferts de temps sol espace pour chaque station puisse nous donner directement le bruit du transfert sol sol. La figure 3 est exemple de différence MeO-FTLRS calculé sur un passage commun du 29 May 2009.

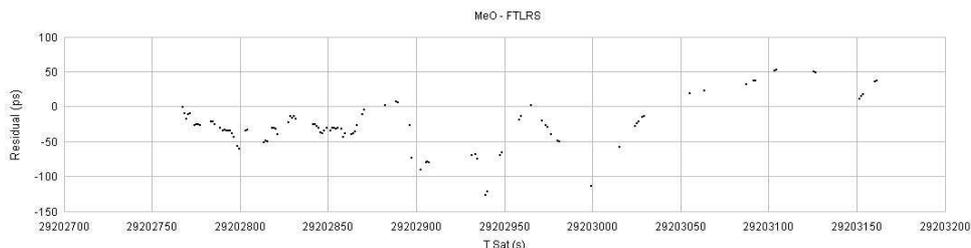


Fig 3 : MeO - FTLRS pour le passage en colocation du 29 May 2009

A partir de ces données, on calcule une stabilité de 20 ps @ 10 s.

4. Campagne de comparaison T2L2 vs Two-Way

Une campagne de comparaison de transfert de temps T2L2 et TwoWay a été engagée en automne 2009 sur une période de 2 mois avec les 4 laboratoires suivants :

- Caussols OCA France
- Paris OP France
- Borowiec AOS Pologne
- Koganei NICT Japon

A l'exception d'OP tous ces sites sont équipés de laser et de TwoWay. Pour palier l'absence de laser à OP, la station mobile FTLRS de l'OCA a été installée sur le toit du bâtiment B de l'Observatoire (Fig 4). Le bilan de la campagne est présenté ci dessous :

N Triplet	Paris	Borowiec	Koganei	Caussols
Ntriplet	310	0	7043	8853
N Pass (> 1)	7	0	18	35

Les conditions météorologiques et la configuration optique du système n'a pas permis d'obtenir de triplet avec la station Pologne.

Sur les passages en vue commune entre MeO et FTLRS, seuls 2 d'entre eux sont utilisables. C'est la météo et la mauvaise qualité optique du faisceau FTLRS qui est la cause de ce faible résultat. Un travail sur le laser de FTLRS est actuellement en cours d'étude. Pour améliorer le bilan de liaison. Les résultats qualitatifs en quantitatif sur Caussols et Koganei sont très satisfaisants.



Fig 4 : FTLRS à l'Observatoire de Paris

5. Centre de Mission Scientifique

5.1. Analyse des données en vol

5.1.1. Réseau ILRS participant

Le segment sol est naturellement constitué par le réseau des stations laser au sol ; cependant, seules les stations laser de ce réseau ayant la possibilité de s'équiper d'un système de temps performant (stabilité temporelle dans la gamme de quelques picosecondes sur 1000 sec) sont pertinentes pour l'expérience de transfert de temps T2L2. Nous sommes donc amenés à sélectionner les passages laser en fonction des caractéristiques des stations.

Le nombre de stations laser participant à la poursuite de Jason2 est d'environ 30-35 stations (sur environ 40). Le nombre de stations participantes à l'expérience T2L2 était de 5-6 en juillet 2008. En 2009, 22-24 stations nous adressent les données laser brutes ; parmi celles-ci moins de la moitié des stations utilisent le nouveau format d'échange laser CRD (avec une résolution de 1 picoseconde). Notons que la recommandation de base, en télémétrie laser, pour dater les

mesures est de 100 ns. Cette augmentation nette de la participation des stations laser à l'expérience T2L2 est dû en bonne partie à la diffusion des messages et des premiers retours scientifiques de T2L2/Jason2 vers les stations et les centres d'analyse, ce à travers l'ILRS.

5.1.2. Données disponibles

Le seuil d'énergie incidente à T2L2 est réglé de manière à éviter un bruit trop important de photons à 532 nm venant de l'albédo terrestre (ce qui aurait tendance à saturer la mémoire du logiciel de bord). Aussi, est-il nécessaire pour les stations laser, (i) de fournir une énergie du laser d'au moins quelques mJ, (ii) d'avoir une divergence de faisceau d'au plus quelques secondes d'arc et bien entendu (iii) d'avoir un ciel suffisamment dégagé. La **Fig. 1** montre le niveau d'énergie reçu par T2L2 venant de la station MeO, par passage, et la relation entre le nombre de triplets détectés et l'énergie.

De ce fait, sur l'ensemble des mesures laser disponibles au sol, de 100% à 10%, suivant le niveau du laser utilisé, sont détectées à bord. Les lasers dit kiloHertz, notamment en Angleterre et en Chine sont cependant détectés par T2L2 à un niveau de quelques % (mais, avec 30,000 à 100,000 mesures par passage, cela suffit à fournir suffisamment de triplets afin d'établir une estimation correcte du transfert de temps sol-bord).

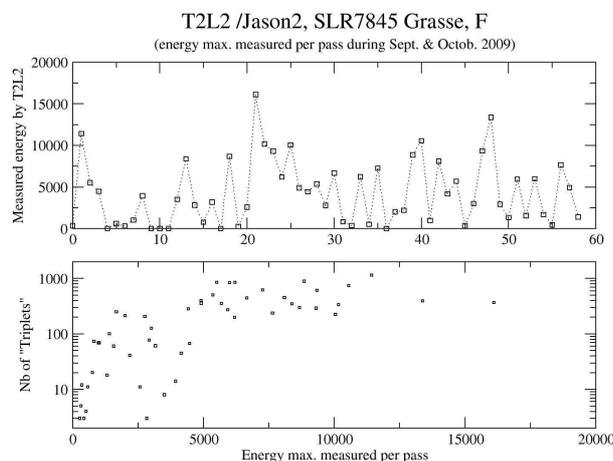


Fig 1 : Station laser de l'OCA, passages de sept.-oct. 2009

5.1.3. Triplets

Nous disposons d'environ 10,000 à 250,000 mesures par jour au sol, et autant de mesures à bord ou presque (bruits solaires compris). L'extraction des triplets par corrélation des dates de ces deux jeux de données s'est beaucoup améliorée entre 2008 et 2009, aboutissant à un modèle de l'horloge bord garantissant une datation bord en UTC (grâce au GPS bord) à environ 0.2 μ sec sur quelques jours, ré-itérable. Ceci est dû principalement à l'amélioration du au filtrage des tops GPS (PPS) enregistrés par T2L2 et datés par l'horloge DORIS ; en outre, les mesures laser dont les pulses sont détectés à bord puis datés contribuent aussi à la validation de ce modèle, à en moyenne 0.085 μ sec. La **Fig. 2** montre un historique du nombre de triplets détectés par passage en haut, et plus spécifiquement pour les stations laser européennes (Wetzell, Herstmonceux, et Grasse).

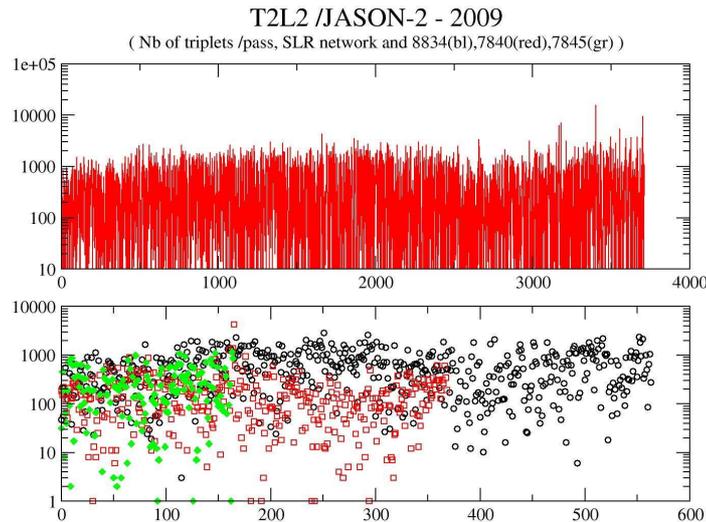


Fig 2 : Nombre de triplets détectés par passage en 2009

5.1.4. Performances

Seules 8 stations laser permettent d’obtenir des passages (d’une durée de 600-800 sec en moyenne) pour lesquels la différence globale de transfert de temps (TT) sol bord est de moins d’une nano seconde ; 250 ps RMS en moyenne sur tout le passage, mais 50 à 65 ps RMS sur 10-20 secondes. En outre, si l’on sélectionne les triplets à haute énergie (pour lesquels le décalage (time-walk) de la diode bord est le plus faible), le bruit court terme est encore plus faible. Il correspond au bilan d’erreur que l’on peut établir a priori, connaissant les bruits instrumentaux bord et sol.

Les meilleurs résultats de TT sol-espace ont été obtenus à partir de passages laser effectués par une station équipée d’un Maser-H (Wettzell) ; une stabilité temporelle (en terme de variance d’Allan) de 7 ps à 30sec entre ce Maser-H au sol et DORIS a été obtenue.

Le tableau ci-dessous indique la répartition des stations en fonction de la performance, par passage, en TT sol-bord.

Stations Laser	US, Am. du Sud	Europe	Eu.-centrale	Afrique	Asie	Océanie
	5	8	2	1	3	2
60 ns	4	1	2	1		1
2-4 ns		2			1	1
< 1 ns	1	5			2	

Ceci montre de fait la courverture possible de l’OUS DORIS par les données laser de TT sol-bord. Il faut en effet pouvoir atteindre une stabilité de 10-20 picosec sur 10sec pour espérer décrire le comportement fin de l’OUS, grâce à T2L2, à qq 10^{-12} .

Si l’on veut pouvoir mesurer précisément le comportement de DORIS suite au passage de Jason2 dans la fenêtre géographique correspondant à l’Anomalie Sud-Atlantique (SAA), il faudrait alors prévoir une campagne avec la station mobile laser (SLUM, FTLRS en anglais) sur le site de Kourou, et bien entendu un équipement temps-fréquence sur place du niveau d’un Maser.

Les premières comparaisons T2L2 / DORIS , effectuées en avril 2009, à partir de passages laser de Grasse et de données DORIS/Diode de la balise de Grasse (installée fin 2008) ont d’abord mené à un bruit de $1.4.10^{-11}$. Des améliorations des traitements de Diode/Jason2 et de T2L2, en collaboration avec le groupe performance DORIS du CNES et CLS-Argos, IDS, sont en cours.

5.1.5. Campagnes de Transfert de Temps sol-sol

Des passages de TT sol-sol, Grasse (MeO)/Grasse (FTLRS), ont été menées de avril à sept. 2009 : plus de 20 passages communs avec de nombreuses données ont été acquis, à partir du même site (plateau de Calern) et de la même horloge de référence au sol (le Cesium de l'OCA).

Les différences, très stables dans le temps, s'établissent en moyenne à 142 ns \pm 150 ps (liée à l'étalonnage de chaque système laser / horloge Cesium locale). Ceci constitue le premier TT sol-sol, avec de surcroît la possibilité d'analyser les données en éliminant une partie du bruit, l'horloge sol étant la même pour les deux stations. Les améliorations des traitements sont en cours, mais on peut espérer une stabilité de 20 picosec à 30 secondes.

Enfin, la campagne probatoire de TT sol-sol entre l'Observatoire de Paris et Grasse (avec également la Pologne et le Japon) a permis de mettre au point le principe de l'expérience et a mis en évidence la difficulté de disposer des différentes techniques de TT, GPS et le Two-Way au même moment entre les différents sites. Quelques passages laser ont été acquis en commun, seulement, dû à une très mauvaise météo. (voir ci-dessus).

L'expérience est prévue à nouveau en 2010.

5.2. Mise en équation du modèle et intégration CMS

Le modèle de l'instrument T2L2 a été testé à partir des mesures effectuées au sol avant le lancement de Jason2. Il s'agit principalement de mettre au point les corrections de décalage de la diode bord liée à la quantité d'énergie incidente, d'estimer la différence d'énergie perçue entre les deux blocs optiques de T2L2 (fonction de l'orientation du tir laser), et enfin de mettre en place un filtrage des données de temps de vol (à partir des mesures de télémétrie) et une élimination des points faux à faibles énergie. Tout ceci est en cours fin 2009, début 2010.

5.3. Diffusion des résultats, web-T2L2

Un site web (<http://www.oca.eu/heberges/t2l2/>) avait été créé entre 2005 et 2007, dans l'attente du lancement de Jason2. Aujourd'hui s'ajoute aux informations classiques d'un projet spatial (objectifs, principes, participants, équipe, moyens sol), des pages concernant la disponibilité des données et des premiers résultats.

Nous travaillons à la diffusion des triplets corrigés et filtrés vers les communauté (stations laser, géodésie spatiale, DORIS et temps-fréquence), ainsi qu'à un format d'échange.

6. Participants au projet

Etienne SAMAIN, OCA

Ph. Guillemot, CNES

Francis Pierron, OCA

M. Furia, OCA (décédé en novembre 2009)

P. Exertier, OCA

Equipe AstroGeo pour les Observations laser à Grasse et en campagne avec la station mobile (J.M. Torre, D. Feraudy, M. Pierron, M. Aimar, J. Paris, D. Albanèse)

Equipe de l'Observatoire de Paris/SYRTE : Ph. Laurent, J. Achkar, D. Rovera.

7. Références bibliographiques

Guillemont, Ph. et al., 2009, EFTF Proceedings, Besançon, F

Guillemont, Ph. et al., 2009, PTTI Proceedings, Albuquerque, US

Exertier, P., 2009, Galileo Scientific Meeting, Padova, Italy, Proceedings et Poster

Exertier, P. et al., accepté Adv. Space Res., 2009-2010

Minazzoli, Exertier, P., et al., Meeting 2009 du GPhYs, Présentation T2L2, Les Houches, France

Soumis

Minazzoli et al., Soumis A&A, 2009-2010

6.3. EFFETS PIONEER ET FLYBY

1. Introduction

L'anomalie Pioneer et les anomalies de survol sont des différences entre des trajectoires calculées à l'aide de modèles dynamiques classiques et les mesures de poursuite des sondes. Dans les deux cas il est possible de réconcilier le modèle avec les observations en ajoutant un effet empirique : une accélération constante dans le cas l'anomalie Pioneer, et un incrément de vitesse lors du passage au périégée dans le cas des anomalies de survol. Dans les deux cas la question non résolue concerne l'origine et l'interprétation de ces effets empiriques.

Actuellement aucun élément ne permet d'affirmer qu'il existe un lien entre ces deux types d'anomalie.

2. Anomalie Pioneer

L'anomalie Pioneer est un décalage Doppler non expliqué, observé dans les signaux radios des deux sondes Pioneer 10 & 11 lancées par la NASA en 1972 et 1973. Les signaux Doppler permettant de suivre la navigation de ces sondes depuis des stations terrestres montrent une déviation par rapport aux calculs fondés sur la relativité générale qui peut être décrite comme une accélération anormale dirigée vers le Soleil et d'une amplitude de l'ordre du nm s^{-2} . Les études consacrées à ce sujet n'ont pas permis jusqu'à présent d'en donner une interprétation dans le cadre de la physique conventionnelle. Ces études continuent avec le but d'expliquer l'anomalie comme une erreur systématique dans le suivi de navigation (en particulier, contribution de la force de radiation thermique liée à l'évacuation de l'énergie produite à bord) ou a contrario de confirmer une déviation inattendue qui aurait des conséquences importantes pour la théorie de la gravitation.

La mesure étant un décalage Doppler, on peut l'interpréter soit directement comme une perturbation sur le signal de l'ordre de 0.2 Hz/an , soit comme une accélération de la sonde de l'ordre de $8 \cdot 10^{-10} \text{ms}^{-2}$ en direction du Soleil (mais ce pourrait aussi être en direction de la Terre ou de l'axe de rotation de la sonde car l'information actuelle ne permet pas de discriminer entre ces directions très proches). Dans les deux cas, la cause de l'anomalie pourrait être soit conventionnelle (mais subtile...), soit liée à une physique inconnue dans ces zones de l'espace comme par exemple une modification de la gravitation. Dans l'état actuel des recherches, il est probable qu'une partie de l'effet Pioneer soit d'origine thermique ; mais les structures des sondes sont complexes, les caractéristiques thermiques des différents éléments sont difficiles à connaître avec précision, et finalement le bilan thermique (avec son aspect anisotropique) est un vrai défi. La question de savoir quelle proportion de l'anomalie peut être expliquée par les effets thermiques n'est donc pas encore résolue.

Une récente ré-analyse, par un groupe français comprenant une équipe GRGS, des données de poursuite disponibles, a montré qu'un signal de type périodique s'ajoutait à l'anomalie constante déjà connue. Une façon économique (mais empirique) de représenter ces effets périodiques est de faire intervenir dans le signal (et non dans le mouvement de la sonde) un effet variant périodiquement avec l'angle Soleil-Station-Sonde. L'inclusion de ces effets périodiques empiriques permet de diminuer l'écart type des résidus d'observations qui passent de 9.8 à 5.5 mHz.

D'autres idées concernant la modélisation de la mesure sont en cours de test.

3. Anomalies de survol

Il existe plusieurs cas de survols de la Terre par des sondes spatiales, pour lesquels le raccordement des trajectoires avant le survol et après le survol n'est pas possible avec les modèles dynamiques classiques. Autrement dit, il n'est pas possible de décrire les deux parties de trajectoires avec les mêmes paramètres d'orbite. En revanche le raccord se fait bien si on rajoute un incrément de vitesse empirique de quelques mm/s (cela dépend des survols) lors du passage au périégée.

Ces incréments sont nettement supérieurs aux erreurs de mesures d'une part et aux erreurs probables sur la partie **connue** du modèle dynamique (telle que le freinage atmosphérique) d'autre part. Leur origine n'est donc pas identifiée actuellement.

Ces effets ont été identifiés aussi bien sur des sondes de la NASA que sur la sonde ROSETTA de l'ESA.

Le cas ROSETTA est un des plus énigmatiques puisque qu'une anomalie (de 0.67 mm/s) a été nettement détectée lors du premier survol le 4 mars 2005, mais que aucune anomalie n'a été détectée lors des deux survols suivants, les 13 novembre 2007 et 13 novembre 2009.

Un groupe de travail s'est constitué pour étudier ce problème dans le cadre de l'ISSI (International Space Science Institute). Des chercheurs du GRGS participent à ce groupe et ont commencé un travail de ré analyse des données concernant la sonde américaine Galileo.

4. Participants GRGS au projet

P. Berio	IR, OCA
V. Lainey	Chercheur, Observatoire de Paris/IMCCE
C. LePoncin	Chercheur, Observatoire de Paris/SYRTE
G. Métris	Chercheur, OCA
P. Wolf	Chercheur, Observatoire de Paris/SYRTE

5. Références bibliographiques

- B. Christophe et al., 2009, GAP, Odyssey: a solar system mission. *Experimental Astronomy*, 23(2), pages 529-547.
- A. Levy, B. Christophe, P. Berio, G. Métris, J.-M. Courty, and S. Reynaud, 2009, Pioneer 10 Doppler data analysis: disentangling periodic and secular anomalies, *Advance in Space Research* 43, pages 1538-1544.
- P. Wolf at al., 2009, Quantum Physics Exploring Gravity in the Outer Solar System: The Sagas Pro ject, *Experimental Astronomy*, 23(2), pages 651-687.

7 - SERVICES SCIENTIFIQUES ET DIFFUSION DE L'INFORMATION

- 7.1. Services scientifiques nationaux
- 7.2. Services scientifiques internationaux
- 7.3. Observatoire virtuel

7.1. SERVICES SCIENTIFIQUES NATIONAUX

1. Introduction

Le SHOM a initié en 2009 un service national de diffusion des observations de la mer. La connaissance du niveau de la mer, à différentes échelles de temps, répond à des besoins de surveillance nécessaires aux pouvoirs publics pour la prévention des risques, la protection des populations, la sécurité de la navigation, la planification stratégique des activités et l'aménagement durable des espaces littoraux. L'année 2009 a été une année de réflexion pour la diffusion des observations du niveau de la mer.

2. Service de diffusion actuel

Le SHOM et l'IGN ont initié en 1999 le projet d'un Système d'Observation du Niveau des Eaux Littorales (SONEL), rejoints en cela par l'Université de La Rochelle et le LEGOS. L'objectif principal de SONEL est la diffusion dans un portail unique et pour la recherche des observations du niveau marin à la côte enregistrées par les marégraphes permanents du SHOM et du LEGOS et ce conjointement avec des données issues des techniques spatiales de positionnement précis (GPS, DORIS...). Cette synergie entre ces deux types de mesures permet de s'assurer de la stabilité géodésique du socle sur lequel reposent les marégraphes. Le portail est hébergé par l'Université de La Rochelle à l'adresse suivante : <http://www.sonel.org>.

Les données de ROSAME (réseau du LEGOS) et de RONIM (réseau du SHOM) sont accessibles gratuitement sur le serveur ftp de SONEL pour l'enseignement et la recherche après inscription et acceptation de la politique de diffusion du site.

Deux types de hauteurs du niveau de la mer provenant de marégraphes RONIM sont disponibles sur le serveur ftp de SONEL, à savoir :

- des hauteurs d'eau toutes les 10min, disponibles 1-2 semaines après leur mesure ;
- des hauteurs d'eau horaires, disponibles 2-3 mois après leur contrôle qualité.

Des niveaux moyens de la mer calculés sont également accessibles, à savoir :

- des niveaux moyens journaliers ;
- des niveaux moyens mensuels ;
- des niveaux moyens annuels.

3. Mise en place d'un service de diffusion des observations du niveau de la mer

Différents organismes produisent des observations, l'objectif de la coordination nationale du niveau de la mer est de centraliser l'ensemble des données et de les diffuser via un portail Internet. En 2009, le rôle de coordinateur national de l'observation du niveau de la mer a été défini sous le pilotage du Secrétariat Général de la Mer (SGMer, 2009) suite aux recommandations de l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST). Ce rôle s'inscrit dans la démarche de référents nationaux présentée dans le livre bleu approuvé par le Premier Ministre en décembre 2009. Ce poste de coordinateur national de l'observation du niveau de la mer a été mis en place au SHOM depuis le 1^{er} décembre 2009 en attendant la publication en 2010 de l'instruction permanente désignant le SHOM comme référent et définissant ses attributions.

Un des objectifs donné à la coordination est le développement d'un guichet unique des observations du niveau de la mer. Un portail diffusant les hauteurs d'eau en temps réel et différé ainsi que toutes les informations connexes sera mis en place. La base de ce portail va s'appuyer sur le volet marégraphique et du contenu ftp proposé sur le portail SONEL. Il pourra diffuser les informations transmises par les organismes contributeurs après que ces données aient été validées par les producteurs et contrôlées par le SHOM.

Il pourra permettre de faire un état des lieux sur les mesures disponibles en France sous la forme de tableaux détaillés suivants les mers et océans choisies mais également à partir de cartes géographiques.

4. Participants au projet

Nicolas POUVREAU, Coordinateur rédaction du chapitre (SHOM)

Lucia PINEAU-GUILLOU, Responsable expérience GRGS 'NMER' (SHOM)

Guy WOPPELMANN, Maître de conférences (Université de La Rochelle)

Ronan CREACH, Ingénieur (SHOM)

Mikaël GUICHARD, Ingénieur (Université de La Rochelle)

5. Références bibliographiques

CIMer, 2009, Livre bleu - Stratégie nationale pour la mer et les océans. 41p.
[URL http://www.sgmer.gouv.fr/IMG/pdf/2009-12-08_-_Livre_bleu.pdf]

ETIENNE J.-C. et R. COURTEAU, 2009. Les dispositifs d'alerte aux tsunamis en France et dans le monde fait au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, n° 546, n° 1808 Assemblée Nationale - 8 juillet 2009, 156p.
[URL <http://www.senat.fr/rap/r08-546/r08-5461.pdf>]

SGMer, 2009, Projet d'instruction permanente du Premier Ministre relative à l'observation du niveau de la mer et à la gestion et à la diffusion des données en résultant - Réunion de travail du 29 mai 2009, Lettre du secrétaire général de la mer n°318/SGMer du 19 mai 2009.

7.2. SERVICES SCIENTIFIQUES INTERNATIONAUX

1. Introduction

Les divers organismes constituant le GRGS abritent plusieurs composantes de services internationaux, IERS et également des services IVS, ILRS, IGS et IDS, qui sont eux-même des centres techniques de l'IERS. Le GRGS abrite, en outre, deux autres services scientifiques internationaux, le BGI et l'ICET.

2. IERS International Earth rotation and Reference system Service

Ce service a été créé en 1988 lors d'une réorganisation du Bureau International de l'Heure. Il a pris la suite d'une composante du BIH et du Service International du Mouvement du Pole (IPMS). Il a principalement pour missions de fournir :

- Le Système de Référence Céleste International (ICRS) et sa réalisation, le Repère de Référence Céleste International (ICRF).
- Le Système de Référence Terrestre International (ITRS) et sa réalisation, le Repère de Référence Terrestre International (ITRF).
- Les paramètres d'orientation terrestre (EOP) pour:
 - La transformation entre les repères
 - Les études des variations de la Rotation terrestre
- Les données géophysiques pour interpréter les variations des paramètres des ICRF, ITRF ou EOP et les modéliser.
- Standards, constantes and modèles (i.e., conventions) en encourageant leur adhésion par la communauté scientifique internationale.

L'Observatoire de Paris héberge :

- Le Centre de l'Orientation Terrestre, responsable de d'évaluer les paramètres à long terme de l'orientation terrestre, des publications de DTU1 et du saut de seconde. (<http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/>)
- Le Centre ICRS, responsable de la maintenance de l'ICRS et ICRF (<http://hpiers.obspm.fr/icrs-pc/>)
- Le LAREG/IGN héberge le centre de Produit ITRS, (<http://itrf.ensg.ign.fr>) responsable de la maintenance de l'ITRF, y compris la coordination des réseaux (colocations, rattachements locaux et qualité des sites)

Un autre Centre fonctionnant dans le cadre de l'IERS concerne le programme de combinaison des techniques spatiale (Voir chapitre 3.4). Ce programme fédère plusieurs équipes du GRGS : au CNES, aux Observatoires de Paris, de la Côte d'azur et de Bordeaux et de l'IGN. Le but est l'estimation simultanée des paramètres de la rotation de la Terre et du système de référence terrestre dans un premier temps, par la suite nous incluons les paramètres troposphériques communs aux diverses techniques. Dans le futur, la perspective est l'ajout des premiers termes du champ de gravité terrestre et les coordonnées de radio-sources extragalactiques (ICRF).

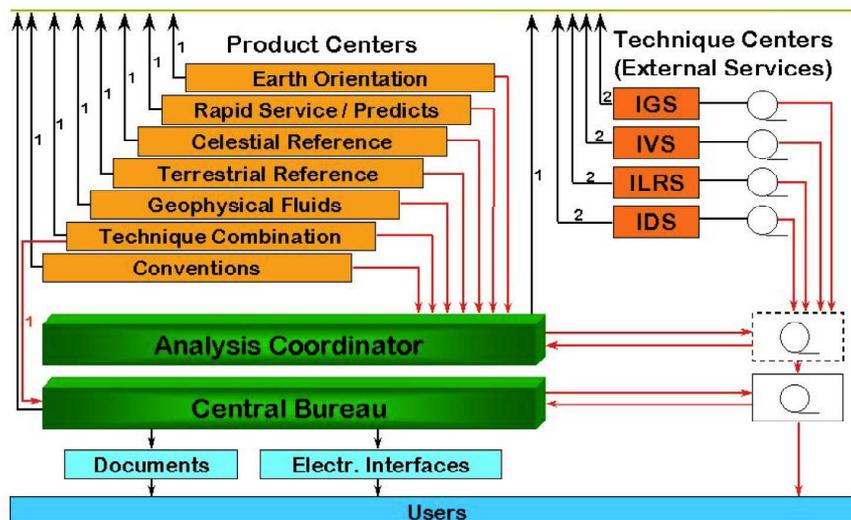


Figure 1. Structure de l'IERS. Les instituts constituant le GRGS participent activement aux activités de services internationaux.

3. Contributions aux services internationaux IVS (VLBI), ILRS (Télémétrie laser-Lune et satellites), IGS (constellations GNSS) et IDS (DORIS)

Les diverses équipes du GRGS sont fortement impliquées dans divers services internationaux concernant les techniques astro-géodésiques. Les activités des divers centres d'analyses sont détaillées dans la section 3.2.

3.1. Observatoire de Paris

IVS : Centre d'analyse VLBI et centre de données : http://ivsopar.obspm.fr/main/pres_fr.php

ILRS : Centre d'analyse de données laser-Lune : <http://syrtel.obspm.fr/polac/>

3.2. CNES/ CLES

IGS : Centre d'analyse de données GPS : <http://igsac-cnes.cls.fr>

IDS : Centre d'analyse de données DORIS

3.3. OCA

ILRS : Centre d'analyse de données de télémétrie laser sur satellites artificiels.

4. Le Bureau Gravimétrique international

Le Bureau Gravimétrique International (BGI) est installé depuis sa création (1951) en France. Il est hébergé par l'OMP depuis 1981 et a été labellisé par l'INSU en 1997. Il est rattaché à l'UGGI/AIG et est un sous bureau de l'International Gravity Field Service. Les activités du BGI en France sont soutenues par une dizaine d'organismes nationaux. La contribution de chacune des parties est définie par une convention cadre réactualisée tous les 4 ans.

Le BGI gère et développe une base de données gravimétriques : <http://www.geodesie.ird.fr/bgi/> et offre également toute une palette de services annexes, couvrant la valorisation des données et l'expertise au sens large en gravimétrie.

5. Le Centre international de marées terrestres (ICET)

L'ICET est hébergé, depuis janvier 2008, par l'Observatoire géodésique de Tahiti (UPF).

Une base de données gravimétriques en marégraphie terrestre et marine est en ligne sur le réseau RENATER à <http://maregraph-renater.upf.pf>. Elle regroupe pour l'instant toutes les données gravimétriques validées du réseau GGP jusqu'en 2007, soit 2000 fichiers mensuels au pas d'une minute.

Il édite des Bulletins des Marées Terrestres qui sont mis en ligne. Un logiciel d'identification des sauts et point faux des données GGP est en cours d'étude, ainsi qu'un logiciel permettant la mise en forme de ces données au format XML.

7.3. OBSERVATOIRE VIRTUEL

1. Introduction

Le groupe que l'on peut qualifier « OV-GAFF », pour « Observatoire Virtuel en Géodésie et Astronomie Fondamentale, groupe France », rassemble les membres GRGS voulant fournir un certain nombre de produits scientifiques avec des outils génériques développés par les astronomes, et structurés dans le cadre de l'Observatoire Virtuel.

C'est la deuxième fois que les activités du groupe « OV-GAFF » apparaissent en tant que telles dans le rapport d'activités GRGS. Le suffixe « groupe France » rappelle que les activités de ce groupe de travail sont financées, outre le GRGS à travers des projets non étiquetés « OV », par l'Action Spécifique ASOV (pilotee par Françoise Génova, Observatoire astronomique de Strasbourg), qui est la composante française de l'IVOA, International Virtual Observatory Alliance.

La base du succès de l'Observatoire Virtuel au niveau international est l'interopérabilité des outils développés, qui repose sur un format standardisé, dérivé du XML. Le stockage des métadonnées est réalisé dans des fichiers autonomes, qui contiennent à la fois les données et toutes les informations nécessaires à leur description et leur utilisation.

En 2009, le groupe OV-GAFF a concentré son activité sur la construction de fichiers répondant aux normes de l'Observatoire Virtuel, pour réaliser ses premiers véritables « webservices ». Le travail a plus spécifiquement porté sur les données transmises régulièrement et d'un point de vue opérationnel aux organisations internationales de géodésie spatiale (IERS, IVS, ILRS, notamment).

L'ensemble des travaux sont rassemblés sur des pages Web dédiées, qui comportent à la fois des liens vers les webservices, les informations techniques dont nous avons eu besoin, et des liens vers les sites de l'IVOA.

Voir : <http://grg2.fr> rubrique « OV-GAFF ».

2. Phase de travail amont : référencement des actions

La majorité des produits opérationnels construits par les membres du groupe de travail sont désormais mis à disposition des utilisateurs selon le format VOTable, en plus des formats spécifiques à chaque technique.

2.1. Le format et la documentation des fichiers

Tous les membres du groupe de travail construisent désormais des fichiers au format VOTable, préalable indispensable à l'utilisation des outils VO. L'utilisation des mots-clefs spécifiques dans ces fichiers est désormais systématique, et le travail sur une utilisation du STC Data model (Space Time Coordinates) a commencé.

2.2. Le référencement des produits

Le référencement sur Internet des outils développés par le groupe de travail a commencé en 2009, et se poursuivra en 2010. Voir par exemple (documentation technique) :

<http://vo.imcce.fr/webservices/skybot/?conesearch#WS>

3. La réalisation de webservices dédiés

Les webservices construits en 2009 concernent la mise à disposition de séries temporelles et de bases de données. Ces services sont accessibles depuis :

http://www-g.oca.eu/heberges/pnaf/FLACSS/fr/Metrologie/SSC_ILRS.php

3.1. Webservices et séries temporelles

L'équipe GRGS/Grasse fournit les séries temporelles de position de stations d'observations, et de paramètres d'orientation de la Terre, à partir des données SLR. Voir Figure 1. Elle fournit aussi les biais des stations laser, établis par l'équipe, entre deux évolutions technologiques successives.

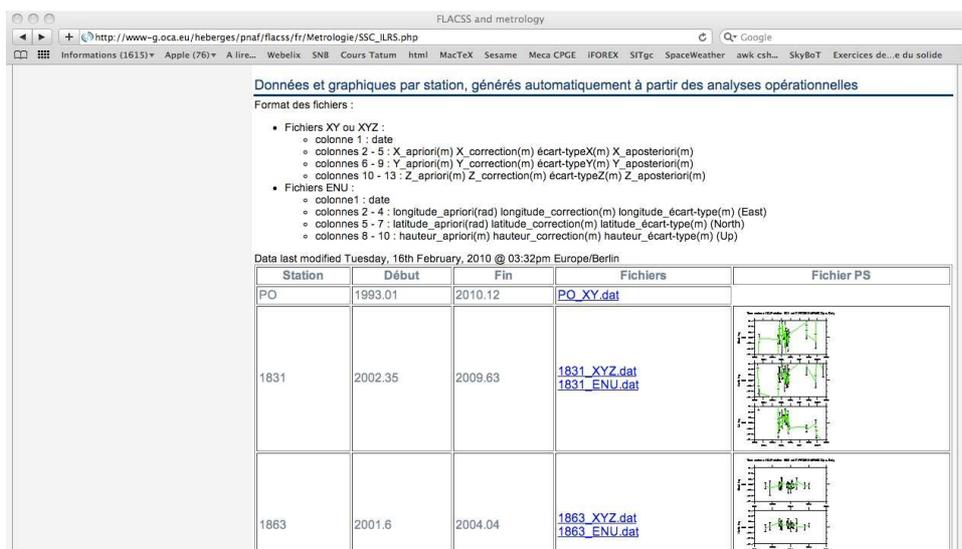


Fig 1 : Capture d'écran de la page proposant la récupération des séries temporelles de coordonnées de stations SLR

L'équipe GRGS/Paris fournit les séries temporelles d'EOP de l'IERS, le calcul de la matrice entre l'ICRF et l'ITRF à tout instant avec une précision confinant 50 micro-arc-secondes pour notre époque, et les coordonnées des radiosources extragalactiques composant l'ICRF. Des interfaces sont disponibles avec : Google maps, Aladin, SIMBAD, NASA/IPAC, BVID, MOJAVE, LQAC.

3.2. Webservices : Bases de données et réseaux.

3.2.1. Disponibilité de l'ITRF dans le VO

Le site de l'ITRF propose un serveur cartographique qui permet de visualiser les différents réseaux ITRF, les réseaux de points de chaque technique, les champs de vitesses ITRF depuis l'ITRF94 ainsi que les limites de plaques tectoniques selon 2 modèles. Il permet également la sélection de points dans le but d'obtenir les coordonnées ITRF d'un sous-réseau à l'époque de son choix.

L'ITRF2000 et l'ITRF2005 sont en particulier accessibles en VO Table 1.1. dans les fichiers : ITRF2000.xml et ITRF2005.xml. L'accessibilité en VO-Table 1.2. est en cours de réalisation.

Voir : <http://itrf.ign.fr> et <http://itrf.ign.fr/VO.php>

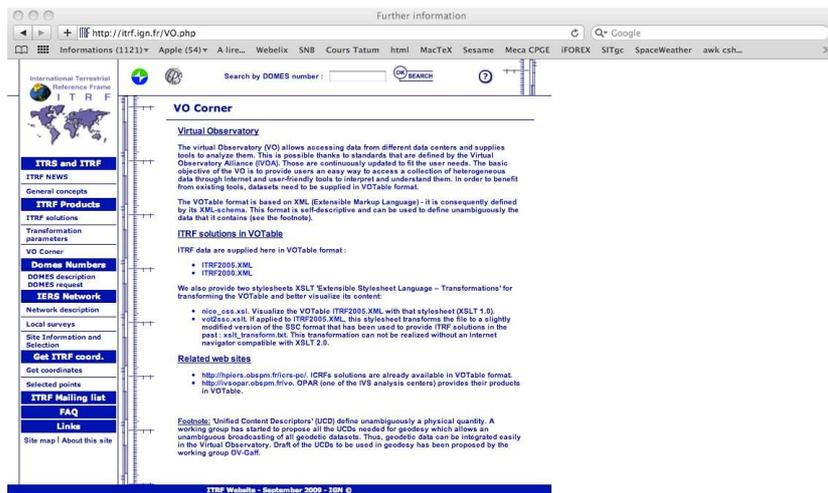


Fig 2 : Le « VO corner » du site ITRF

3.2.2. Base de données « débris spatiaux »

En vue de préparer l'exploitation des développements méthodologiques pour l'ajustement de paramètres d'orbites de débris spatiaux, une base de données dédiée a été développée à l'IMCCE et l'OCA, nommée ODIN pour « Orbital Debris Information Network », en MySQL, selon les recommandations de l'IVOA. Elle comporte un site client, un site d'administration (en php).

4. Travail d'information vers les services internationaux et les instances nationales

Les participants au groupe de travail profitent de leur participation aux colloques des services internationaux de géodésie spatiale pour promouvoir le format VO-Table et le concept OV. A noter en 2009 une communication spécifiques « OV » lors de l'EGU General Assembly.

5. Participants au projet

Les participants cités ci-dessous sont ceux qui ont été particulièrement actifs au cours de l'année 2009. On peut rajouter à cette liste l'ensemble des inscrits à la liste OV-GAFF, qui rassemble une trentaine de personnes.

GRGS-Grasse : Florent Deleflie, Bertrand De Saint-Jean, Olivier Laurain, Pierre Exertier

GRGS-LAREG : Xavier Collilieux, David Coulot, Arnaud Pollet, Anne Duret (Service de géodésie et de Nivellement de l'IGN)

GRGS-SYRTE : Sébastien Lambert, Christophe Barache, Anne-Marie-Gontier

GRGS-IMCCE : Jérôme Berthier, Frédéric Vachier

6. Références bibliographiques

Souchay, J.; Andrei, A. H.; Barache, C.; Bouquillon, S.; Gontier, A.-M.; Lambert, S. B.; Le Poncin-Lafitte, C.; Taris, F.; Arias, E. F.; Suchet, D.; Baudin, M., The construction of the large quasar astrometric catalogue (LQAC), *Astronomy and Astrophysics*, Volume 494, Issue 2, pp.799-815, 2009

F. Henry, Mise en place d'une structure de base de données pour l'orbitographie des débris spatiaux, avec l'Observatoire Virtuel : administration, Rapport de stage Ingénieur EPSI, Arras, Dir J. Berthier, F. Deleflie

J. Pichon, Mise en place d'une structure de base de données pour l'orbitographie des débris spatiaux, avec l'Observatoire Virtuel : outils client, Rapport de stage Ingénieur EPSI, Arras, Dir J. Berthier, F. Deleflie

- F. Deleflie, Vers un nouveau catalogue de débris spatiaux : la nécessité de l'interopérabilité , Personal communication, Note technique du séminaire du 7 décembre 2009, Toulouse, CCT PMI du CNES, 2009
- Florent Deleflie, Sébastien Lambert, Jérôme Berthier, Xavier Collilieux, Christophe Barache, Anne-Marie Gontier, et al., Actions 2008-2009, groupe Géodésie et Astronomie Fondamentale, Assemblée Générale de l'ASOV, novembre 2009, Paris
- F. Deleflie, X. Collilieux, D. Coulot, S. Lambert, J. Berthier, C. Barache, A.-M. Gontier, and P. Exertier, Why choosing the Virtual Observatory in Geodesy and Earth Sciences, poster EGU2009-11322, EGU General Assembly, Vienna, April 2009
- F. Deleflie, S.B. Lambert, X. Collilieux, C. Barache, J. Berthier, O. Laurain, D. Coulot, P. Exertier, A.-M. Gontier, The Virtual Observatory in Geodesy and Earth's Sciences: The French activities, Proceedings of the ILRS Workshop, Poznan, 2009

C - AUTRES ACTIVITES GRGS

MANIFESTATIONS ASSOCIÉES A L'INAUGURATION DES STATIONS LASER RENOVÉES DE L'OCA

1. Introduction

L'Observatoire de la Côte d'Azur, le Bureau des longitudes, et la direction du GRGS ont organisé les 14 et 15 avril 2009 un ensemble de manifestations à l'occasion de l'inauguration des stations laser du plateau de Calern dans leur nouvelle configuration. Il s'agissait de célébrer le retour des stations françaises dans le réseau international de l'ILRS, après plusieurs années de rénovation technologique avec l'opération T2000. Les organisateurs en ont profité pour mettre à l'honneur les pionniers fondateurs du CERGA, Jean Kovalevsky et François Barlier, qui ont beaucoup oeuvré pour le développement de ce site d'observations géodynamiques et astronomiques. Cet ensemble de manifestations s'est déroulé dans une ambiance relativement informelle, et a associé moments de convivialité et présentations scientifiques retraçant l'histoire du site, tout en s'interrogeant sur les actions à engager dans les toutes prochaines années aux niveaux local et national. En plus de la cérémonie proprement dite a eu lieu une demi-journée d'exposés scientifiques autour des applications de la télémétrie laser, en préalable à la réunion annuelle du Conseil Scientifique du GRGS qui s'est tenu à Grasse.

La manifestation a rassemblé plus d'une centaine de personnes, parmi lesquelles on pouvait retrouver des membres des différentes composantes géographiques du GRGS, une grande partie des collègues de Calern, ainsi que certains collègues de longue date de François Barlier et Jean Kovalevsky, qui avaient pu être invités à cette occasion.

2. Cérémonie d'inauguration des stations laser rénovées de l'OCA, le 14 avril 2009

2.1. Programme de la journée du 14 avril

Mardi 14 avril 2009, 14h à 19h 30, Observatoire de Calern :

- 14h00-17h : Accueil des participants à Calern. Visite en parallèle et par groupe des stations laser (avec "collation" adaptée à l'horaire)
- 17h-18h30 : Cérémonie de mise à l'honneur de Jean Kovalevsky et François Barlier,
 - introduction : direction du GRGS (Richard Biancale) et de l'OCA (Farok Vakili)
 - exposé de la "pré-histoire" de Calern, et du GRGS : Jean Kovalevsky, François Barlier
 - l'opération T2000 : Francis Pierron
 - le laser du futur, et le futur du laser : Graham Appleby (en anglais, représentant le Governing Board de l'ILRS)
 - aperçu des carrières de Jean et François : François Mignard
 - allocution du Bureau des longitudes : Nicole Capitaine
- 18h30-19h : Visite des stations en train de tirer, même si le temps a été quelque peu couvert
- 19h-19h15 : Départ pour le restaurant, nuit à Grasse

2.2. Quelques photos

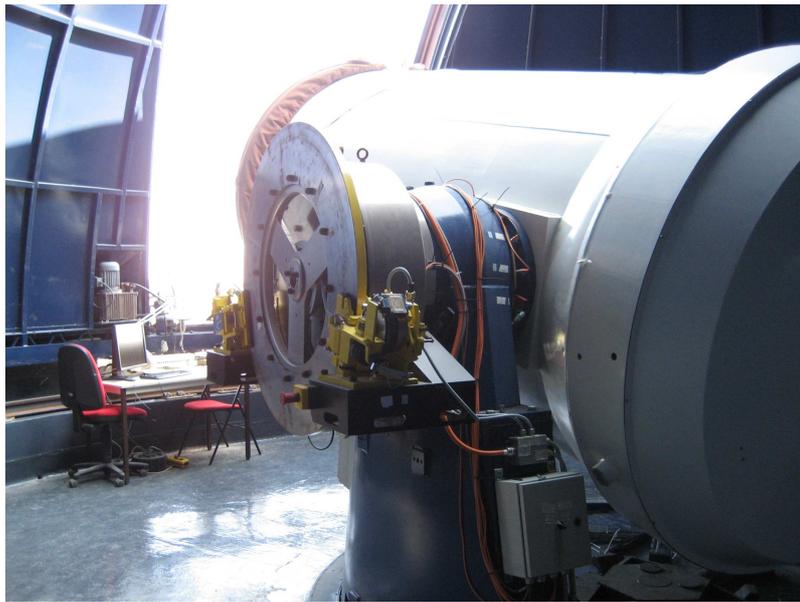


Fig 1 : Le télescope MEO de l'Observatoire de la Côte d'Azur (photo Georges Balmino)



Fig 2 : Jean Kovalevsky et François Barlier, lors de leur exposé à Calern du 14 avril 2009 (photo Georges Balmino)



Fig 3 : Au restaurant, le soir du 14 avril 2009 (photo Georges Balmino)

3. Réunion ouverte du conseil scientifique du GRGS, 15 avril 2009

Suivant la charte d'organisation du GRGS et selon la tradition établie depuis 2004, une réunion ouverte du Conseil Scientifique a été organisée le Mercredi 15 avril 2009, à l'Observatoire de la Côte d'Azur (sur le site de Roquevignon), à la suite de la cérémonie du 14 avril au plateau de Calern et en préalable à la réunion annuelle de ce CS, l'après-midi dans ce même lieu.

Le thème retenu était « Le futur de la télémétrie laser ». L'objectif de cette réunion était de favoriser une réflexion et une discussion sur les travaux complémentaires et les projets des équipes du GRGS dans ce domaine. L'objectif était également de faire connaître les travaux menés et d'encourager des coopérations scientifiques inter équipes, raison fondamentale de l'existence du GRGS. Cette réunion était ouverte à l'ensemble du personnel du GRGS et des participants à la cérémonie du 14 avril. Le programme est donné ci-dessous :

Introduction (5 min) (N. Capitaine)

- Les applications de la télémétrie laser au système Terre-Lune (30 min) : S. Bouquillon, G. Francou, W. Zerhouni (SYRTE, OP), H. Manche (IMCCE, OP)
- Calibration altimétrique : de l'Océan aux Eaux Continentales (30 min) : P. Bonnefond (OCA)
- Redistributions de masse à la surface de la Terre par gravimétrie spatiale GRACE (30 min) : G. Ramillien (DTP, OMP)

Pause (15 min)

Tour d'horizon et discussion (1 h) sur les thèmes suivants :

- projets GRGS et prospective du CNES
- projet de programme national "Systèmes de référence/Temps-fréquences/Géodésie spatiale/Physique fondamentale"
- futur de la télémétrie laser (cibles, applications, ...)
- futur de la gravimétrie spatiale
- participation aux services scientifiques internationaux

L'ensemble des présentations sont disponibles en ligne, à l'adresse URL suivante : ftp://syrte.obspm.fr/pub/GRGS/Seance_scient_GRGS2009/

4. Participants à ces manifestations

Gilles Metris, Pascal Bonnefond, Jean-Marie Torre, Maurice Furia, Grégoire Martinot-Lagarde, Jean-Louis Oneto, Michel Froeschle, Monique Torre, Nicole Capitaine, Francis Pierron, Dominique Albanese, Alain Blazit, Richard Biancale, Pierre Exertier, Sean Bruinsma, Zuheir Altamimi, Daniel Gambis, Jérôme Benveniste, Anne-Marie Gontier, Steven Hosford, Patrick Charlot, Bertrand Chauvineau, Olivier Minazzoli, Daniel Bonneau, Yves Rabbia, Olivier Chesneau, Olivier Laurain, Christian Pollas, Monique Pierron, Anne Briais, Francois Mignard, Georges Balmino, Pierre Granes, Françoise Baumont, Mathilde Lapie, Guillaume Lion, Mathieu Mazuez, Wassila Zerhouni, Pascal Willis, Jean-Michel Lemoine, Philippe Maisongrande, Guillaume Ramillien, Chantal Laplanche, Maurice Laplanche, Christian Sinet, Christian Dumoulin, Jean-François Mangin, Philippe Bruneau, Alain Vienne, William Thuillot, Paul Paquet, Pierre Bauer, Pascal Gegout, Thomas Lebourg, Tony Monfret, Stavros Melachroinos, Emmanuel Tric, Sébastien Lambert, Hervé Manche, Christian Bizouard, Maurice Schuyer, Christophe Leponcin-Lafitte, Etienne Samain, Graham Appleby, Ulrich Schreiber, Claude Boucher, Gérard Vigouroux, Jean-Louis Hatat, Farrokh Vakili, Philippe Charvis, Suzanne Debarbat, Maurice Orszag, Noël Dimarcq, Jacques Depeyre, Richard Brunet, Christian Munier, Nary Man, Christiane Berger, Francis Laclare, Sylvain Bonvalot, Nicole Aballea, Sébastien Bouquillon, Odile Calame, Denis Hautesserres, Charles Parvillee, Alvaro Santamaria, Mourad Aimar, Michel Kasser, Jeanne Falin, Jean Louis Falin, François Barlier, Jean Kovalevsky, Florent Deleflie.

5. Références bibliographiques

- Jean Kovalevsky, François Barlier, Origines l'Observatoire du plateau de Calern et du GRGS, Présentation orale lors de la cérémonie d'inauguration des stations laser du plateau de Calern, Caussols, avril 2009
- Francis Pierron, l'opération T2000, Présentation orale lors de la cérémonie d'inauguration des stations laser du plateau de Calern, Caussols, avril 2009
- Graham Appleby, le laser du futur, et le futur du laser, Présentation orale lors de la cérémonie d'inauguration des stations laser du plateau de Calern, Caussols, avril 2009
- François Mignard, Les carrières de Jean Kovalevsky et François Barlier, Présentation orale lors de la cérémonie d'inauguration des stations laser du plateau de Calern, Caussols, avril 2009
- S. Bouquillon, G. Francou, W. Zerhouni, H. Manche, Les applications de la télémétrie laser au système Terre-Lune, Présentation orale lors de la réunion ouverte du conseil scientifique du GRGS, Grasse, avril 2009
- P. Bonnefond, Calibration altimétrique : de l'Océan aux Eaux Continentales, Présentation orale lors de la réunion ouverte du conseil scientifique du GRGS, Grasse, avril 2009
- G. Ramillien, Redistributions de masse à la surface de la Terre par gravimétrie spatiale GRACE, Présentation orale lors de la réunion ouverte du conseil scientifique du GRGS, Grasse, avril 2009

CONSEIL SCIENTIFIQUE DU GRGS (OCTOBRE 2009)

Une réunion exceptionnelle du CS du GRGS a eu lieu, à l'Observatoire de Paris, le 27 octobre 2009, pour discuter de différentes questions urgentes pour l'avenir du GRGS, en particulier de ses sites d'observations géodésiques, ainsi que de l'organisation de l'Ecole d'été GRGS 2010, activité essentielle pour la formation des doctorants, post-docs, jeunes chercheurs et ingénieurs dans le domaine de la géodésie spatiale.

En plus de points relatifs à la coordination du GRGS au niveau du site web et des activités en cours, l'ordre du jour comportait des points relatifs à la politique de la station mobile française de télémétrie laser, au projet d'évolution de la station laser de l'Observatoire géodésique de Tahiti, au projet d'antenne VLBI 2010 à Tahiti, et à la préparation de l'Ecole d'été GRGS2010. Chacun de ces points a donné lieu à une large discussion, dont les conclusions sont données ci-dessous.

Politique de la station mobile française de télémétrie laser (FTLRS)

- le maintien d'une compétence laser au niveau GRGS est une priorité,
- il faut maintenir une équipe compétente sur le site de l'OCA,
- la FTLRS est un concept qui a fait ses preuves, et qui est plus nécessaire que jamais,
- il faut s'accorder sur un projet largement soutenu par notre communauté,
- une organisation adaptée au transfert de compétences doit être mise en place dès maintenant au sein de l'équipe OCA en charge de la station mobile pour faire face aux départs prochains en retraite et le remplacement de leurs postes doit être assuré.

M. Kasser a été chargé, avec une équipe projet (OCA/IGN/GRGS/ESGT) et le soutien du CS du GRGS, de la préparation du dossier présentant un plan en 3 étapes: (1) financement d'une étude poussée débouchant sur un dossier pré-industriel, (2) jouvence des deux sous-ensembles clés (laser, puis tourelle), selon un calendrier qui n'immobilise pas la station plus de 6 mois à chaque fois, (3) « clonage » de la station par un industriel, sur la base de ce dossier, pour équiper Tahiti. La préparation du projet exige:

- d'avoir une idée d'industriels susceptibles de s'intéresser à l'industrialisation,
- d'avoir une idée de ce que pourrait coûter le premier « clone »,
- d'inclure les attendus scientifiques,
- de s'appuyer sur un scientifique de la communauté « océanographie » afin d'étayer les besoins en étalonnage pesant sur la communauté SLR.

Projet d'évolution de la station laser de l'Observatoire géodésique de Tahiti

La signature d'un nouveau contrat NASA/UPF/CNES a assuré l'avenir de la station laser de l'OGT pour 5 ans. A plus long terme, une nouvelle station laser devra être installée, soit une station NASA de 2ème génération, soit une clone du projet FTLRS, adapté à un concept de station non-mobile.

Le GRGS doit prendre contact avec la commission qui a été créée à l'issue de sa prospective de la section ST de l'INSU. Car ses activités du GRGS relèvent typiquement d'un service d'observation et pourraient de ce fait être considérées par la commission des services observations à côté de la sismologie, de la géodésie (terrestre)-gravimétrie, magnétisme, volcanologie et glissements gravitaires.

Projet d'antenne VLBI 2010 à Tahiti

Le développement du système VLBI2010, d'un coût moindre et prévu pour fonctionner en mode automatique, va offrir une opportunité intéressante pour s'équiper au cours des années à venir. Un tel projet permettrait à la France de renforcer sa position internationale par une participation aux observations VLBI dans un lieu stratégique pour l'IVS. De plus, la prochaine connexion de Tahiti par fibre optique haut débit permettra d'observer en mode e-VLBI.

L'OGT a exprimé son intérêt pour un tel projet, qui exigerait, pour des raisons à la fois climatiques et pratiques, un déplacement de l'infrastructure géodésique en un autre point de l'île de Tahiti. Une enquête sur place en coordination avec tous les moyens spatiaux espace qui y sont présents est fortement recommandée.

Préparation de l'Ecole d'Eté GRGS 2010

Le CS adopte, pour l'école GRGS 2010, le sujet: « Mesure et modélisation de la gravité », ainsi que les dates du 6 au 10 septembre 2010. Plusieurs possibilités de lieux sont évoquées. Depuis la réunion du CS, un site a été retenu : celui du village des Bruyères, à Carcans-Maubuisson.

Le Comité d'organisation de l'école sera formé de R. Biancale, S. Bonvalot, N. Capitaine, F. Deleflie, M. Diament et P. Exertier. Le projet de programme sera présenté à la prochaine réunion du Bureau Exécutif, en janvier 2010, puis finalisé lors de la prochaine réunion du CS.

D - ANNEXE

Personnel GRGS : liste et coordonnées (au 31 décembre 2009)

Directeur Exécutif : Richard Biancale (CNES, Tél. : 05 61 33 29 78)

1. Equipe GRGS, Centre National d'Etudes Spatiales

18, Avenue Edouard Belin, 31401 Toulouse Cedex 9

Fax LG : 05 61 25 32 05

Fax GS : 05 61 25 30 98

Géodésie Spatiale (GS)

Personnel Permanent

BALMINO Georges	balmino@ntp.obs-mip.fr	05 61 33 28 89
BIANCALE Richard	Richard.Biancale@cnes.fr	05 61 33 29 78
BRUINSMA Sean	Sean.Bruinsma@cnes.fr	05 61 33 28 41
FAYARD Thierry*	Thierry.Fayard@cnes.fr	05 61 33 29 39
LEMOINE Jean-Michel	Jean-Michel.Lemoine@cnes.fr	05 61 33 28 94
MARTY Jean-Charles	Jean-Charles.Marty@cnes.fr	05 61 33 28 96
PEROSANZ Félix	Felix.Perosanz@cnes.fr	05 61 33 28 96
REINQUIN Franck	Franck.Reinquin@cnes.fr	05 61 33 28 91
VALES Nicole	Nicole.Vales@cnes.fr	05 61 33 28 92

* affecté au BGI à temps complet

LEGOS (LG)

Personnel permanent

BERGE-NGUYEN Muriel	Muriel.Berge-Nguyen@cnes.fr	05 61 33 29 75
CAZENAVE Anny	Anny.Cazenave@cnes.fr	05 61 33 29 22
CRETAUX Jean-François	Jean-Francois.Cretaux@cnes.fr	05 61 33 29 89
DAILLET-ROCHETTE Sylviane	Sylviane.Daillet-rochette@cnes.fr	05 61 33 29 25
GENNERO Marie-Claude	Marie-Claude.Gennero@cnes.fr	05 61 33 29 35
MAISONGRANDE Philippe	Philippe.Maisongrande@cnes.fr	05 61 33 28 76
MENA Martine	Martine.Mena@cnes.fr	05 61 33 29 02

2. Equipe GRGS, Institut Géographique National

ENSG/LAREG - 6-8, Avenue Blaise Pascal - Cité Descartes - Champs s/Marne - 77455

Marne La Vallée Cedex 2

Fax : 01 64 15 32 53

Personnel permanent

ALTAMIMI Zuheir	zuheir.altamimi@ign.fr	01 64 15 32 55
BERNARD Etienne	etienne.bernard@ign.fr	
BOCK Olivier	Olivier.Bock@Ign.fr	01 64 15 32 56
COLLILIEUX Xavier	xavier.collilieux@ign.fr	01 64 15 31 38
COULOT David	david.coulot@ign.fr	01 64 15 32 63
GUERIN Christiane	christiane.guerin@Ign.fr	01 64 15 32 52
JAMET Olivier	olivier.jamet@ign.fr	01 64 15 32 50
METIVIER Laurent	Laurent.Metivier@ign.fr	01 64 15 32 54
PANET-STORINO Isabelle	isabelle.panet@ign.fr	01 64 15 32 58
POLLET Arnaud	arnaud.pollet@ign.fr	01 64 15 32 83
VALTY Pierre	pierre.valty@ign.fr	01 64 15 32 60

Personnel rattaché

BOSSER Pierre	Pierre.Bosser@ign.fr	01 64 15 31 17
BOUCHER Claude	claud.boucher@developpement-durable.gouv.fr	01 43 98 83 27
BOUIN Marie-Noelle	Marie-Noelle.Bouin@meteo.fr	02 98 22 18 46
LE BAIL Karine	karinelebaill@gmail.com	001 301 614 6549
WILLIS Pascal	pascal.willis@ipgp.jussieu.fr	01 57 27 84 81

Doctorants et Post-Doc

GOBBINDASS Marie-Line	gobinddass@ipgp.jussieu.fr	01 57 27 84 77
EISSA Leila	leilaeissa@hotmail.fr	01 64 15 32 60
LI QI	Qi.Li@ign.fr	01 64 15 32 93
NAHMANY Samuel	samuel.nahmani@ign.fr	01 64 15 32 83
SANTAMARIA Alvaro	alvaro.santamaria@ign.fr	01 64 15 32 60

SGN - 73, Avenue de Paris - 94165 Saint Mandé Cedex

Fax : 01 43 98 84 50

Personnel permanent

DUQUESNOY Thierry	thierry.duquesnoy@ign.fr	01 43 98 83 27
GARAYT Bruno	bruno.garayt@ign.fr	01 43 98 81 97
HARMEL Alain	Alain.Harmel@ign.fr	01 43 98 85 58
REBISCHUNG Paul	Paul.Rebischung@ign.fr	01 43 98 83 36

3. Equipe GRGS, Observatoire de Paris SYRTE (UMR 8630)

61, Avenue de l'Observatoire - 75014 Paris

Fax : 01 40 51 22 91

Personnel permanent

BARACHE Christophe	christophe.barache@obspm.fr	01 40 51 22 30
BAUDOIN Pascale	pascale.baudoin@obspm.fr	01 40 51 22 26
BECKER Olivier	olivier.becker@obspm.fr	01 40 51 22 11
BIZOUARD Christian	christian.bizouard@obspm.fr	01 40 51 23 35
BOUGEARD Mireille	mireille.bougeard@obspm.fr	01 40 51 20 15
BOUQUILLON Sébastien	sebastien.bouquillon@obspm.fr	01 40 51 20 03
CAPITAINE Nicole	nicole.capitaine@obspm.fr	01 40 51 22 31
CARLUCCI Teddy	teddy.carlucci@obspm.fr	01 40 51 22 28
FRANCOU Gérard	gerard.francou@obspm.fr	01 40 51 22 30
GAMBIS Daniel	daniel.gambis@obspm.fr	01 40 51 22 29
GONTIER Anne-Marie	anne-marie.gontier@obspm.fr	01 40 51 22 30
LAMBERT Sébastien	sebastien.lambert@obspm.fr	01 40 51 22 30
LAURENT Philippe	philippe.laurent@obspm.fr	01 40 51 23 95
LE PONCIN LAFFITTE Christophe	christophe.leponcin-lafitte@obspm.fr	01 40 51 20 20
RICHARD Jean-Yves	jean-yves.richard@obspm.fr	01 40 51 23 67
SOUCHAY Jean	jean.souchay@obspm.fr	01 40 51 23 22
TEYSSANDIER Pierre	pierre.teyssandier@obspm.fr	01 40 51 23 41
WOLF Peter	peter.wolf@obspm.fr	01 40 51 23 24

Doctorants et Post-Doc

COTTEREAU Laure	laure.cottreau@obspm.fr	01 40 51 22 28
SEOANE Lucia	lucia.seoane@obspm.fr	01 40 51 22 11
YAO Kunliang	kunliang.yao@obspm.fr	01 40 51 22 11
ZERHOUNI Wassila	wassila.zerhouni@obspm.fr	01 40 51 22 11

IMCCE

Personnel permanent

HESTROFFER Daniel	daniel.hestroffer@imcce.fr	01 40 51 22 60
LAINÉY Valéry	valery.lainey@imcce.fr	01 40 51 22 72
LASKAR Jacques	jacques.laskar@imcce.fr	01 40 51 21 14
MANCHE Hervé	Herve.Manche@imcce.fr	01 40 51 20 24
RAMBAUX Nicolas	nicolas.rambaux@imcce.fr	01 40 51 22 63
THUILLOT William	william.thuillot@imcce.fr	01 40 51 22 62
VIENNE Alain	Alain.Vienne@imcce.fr	03 20 52 44 24

Doctorant

KUCHINKA Petr	Petr.Kuchynka@imcce.fr	01 40 51 21 32
---------------	------------------------	----------------

4. Equipe GRGS, Observatoire de la Côte d'Azur, Géoazur

Avenue Nicolas Copernic, 06130 Grasse

Fax : 04 93 40 53 33

Personnel permanent

BONNEFOND Pascal	pascal.bonnefond@obs-azur.fr	04 93 40 53 63
DELEFLIE Florent	florent.deleflie@obs-azur.fr	04 93 40 53 81
EXERTIER Pierre	pierre.exertier@obs-azur.fr	04 93 40 53 86
FERAUDY Dominique	dominique.feraudy@obs-azur.fr	04 93 40 53 66
JULIENNE Christine	christine.julienne@obs-azur.fr	04 93 40 53 88
LAURAIN Olivier	olivier.laurain@obs-azur.fr	04 93 40 53 45
METRIS Gilles	gilles.metris@obs-azur.fr	04 93 40 53 56
PARIS Jocelyn	jocelyn.paris@obs-azur.fr	04 93 40 54 20
PIERRON Francis	francis.pierron@obs-azur.fr	04 93 40 54 20
PIERRON Monique	monique.pierron@obs-azur.fr	04 93 40 54 22
SAMAIN Etienne	etienne.samain@obs-azur.fr	04 93 40 54 29
TORRE Jean-Marie	jean-marie.torre@obs-azur.fr	04 93 40 53 51

5. Equipe GRGS, Service Hydrographique de la Marine

13, Rue du Chatellier - CS 92803 - 29228 Brest Cedex 2

Fax : 02 98 22 17 45

Personnel permanent

BATANY Christian	christian.batany@shom.fr	02 98 22 17 37
CREACH Ronan	ronan.creach@shom.fr	02 98 22 15 89
GUIRAND Virginie	virginie.goirand@shom.fr	02 98 22 17 55
LALANCETTE Marie-Françoise	Marie-Francoise.lalancette@shom.fr	02 98 22 15 87
LE DU Pascal	ledu@shom.fr	02 98 22 17 29
LEROY Ronan	rleroy@shom.fr	02 98 22 15 89
MOYSAN Yann	yann.moysan@shom.fr	02 98 22 17 74
PINEAU-GUILLOU Lucia	lucia.pineau-guillou@shom.fr	02 98 22 12 74
ROUXEL Didier	didier.rouxel@shom.fr	02 98 37 78 09

Personnel rattaché et Doctorant

WOPPELMANN Guy	gwoppelm@shom.fr	
POUVREAU Nicolas	nicole.pouvreau@univ-lr.fr	

6. Equipe GRGS, Observatoire Midi-Pyrénées

14, Avenue Edouard Belin - 31400 TOULOUSE

(a) LEGOS (UMR 5566) (Fax : 05 61 25 32 05)

Personnel permanent

CALMANT Stéphane	Stephane.Calmant@ird.fr	05 61 33 29 37
LEGRESY Benoit	benoit.legresy@legos.obs-mip.fr	05 61 33 29 56
REMY Frédérique	frederique.remy@legos.obs-mip.fr	05 61 33 29 58
TESTUT Laurent	laurent.testut@legos.obs-mip.fr	05 61 33 27 85

(b) DTP (UMR 5562) (Fax : 05 61 33 29 00)***Personnel permanent***

BRIAIS Anne	anne.briais@ntp.obs-mip.fr	05 6133 29 07
GARCIA Raphael	raphael.garcia@ntp.obs-mip.fr	05 61 33 30 45
GEGOUT Pascal	pascal.gegout@ntp.obs-mip.fr	05 61 33 28 93
LESTIEU Nicole	Nicole.Lestieu@cnes.fr	05 61 33 29 80
MONNEREAU Marc	marc.monnerneau@ntp.obs-mip.fr	05 61 33 29 68
RAMILLIEN Guillaume	Guillaume.Ramillien@ntp.obs-mip.fr	05 61 33 29 30
RIGO Alexis	Alexis.Rigo@ntp.obs-mip.fr	05 61 33 29 69

Post-Doc

FUND François	francois.fund@ntp.obs-mip.fr	05 61 33 28 94
---------------	------------------------------	----------------

7. Equipe GRGS, Université de Polynésie Française, Observatoire Géodésique de Tahiti (OGT)

Fax : 00 689 803 842

BP 6570 - 98702 FAA'A Tahiti, Polynésie Française

Personnel permanent

BARRIOT Jean-Pierre	barriot@upf.fr	00 689 803 884
---------------------	----------------	----------------

8. Equipe GRGS, CNAM/Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes (ESGT)

Laboratoire de Géodésie et Géomatique (JE 2508) - 1, Boulevard Pythagore - Campus Universitaire du Maine - 72000 Le Mans

Fax : 02 43 43 31 02

Personnel permanent

CALI José	jose.cali@esgt.cnam.fr	02 43 43 31 38
DURAND Frédéric	frederic.durand@esgt.cnam.fr	02 43 43 31 00
DURAND Stéphane	stephane.durand@esgt.cnam.fr	02 43 43 31 58
MOREL Laurent	laurent.morel@esgt.cnam.fr	02 43 43 31 40
NICOLAS-DUROY Joelle	joelle.nicolas@esgt.cnam.fr	02 43 43 31 59
SIMONETTO Elisabeth	elisabeth.simonetto@esgt.cnam.fr	02 43 43 31 37

Doctorants

LEGRU Benoit	benoit.legru@esgt.cnam.fr	02 43 43 31 10
CHENDEB-EL-RAI Marva	marwa.chendeb-el-rai@esgt.cnam.fr	02 43 43 31 38