



**HAL**  
open science

## SYRTE - Systèmes de référence temps-espace

Rapport Hcéres

► **To cite this version:**

Rapport d'évaluation d'une entité de recherche. SYRTE - Systèmes de référence temps-espace. 2013, L'Observatoire de Paris, Centre national de la recherche scientifique - CNRS, Université Pierre et Marie Curie - UPMC. hceres-02031194

**HAL Id: hceres-02031194**

**<https://hal-hceres.archives-ouvertes.fr/hceres-02031194>**

Submitted on 20 Feb 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



agence d'évaluation de la recherche  
et de l'enseignement supérieur

Section des Unités de recherche

Evaluation de l'AERES sur l'unité :

Systemes de Référence Temps-Espace

SYRTE

sous tutelle des

établissements et organismes :

Observatoire de Paris

Centre National de la Recherche Scientifique

Université Paris 6 - Pierre et Marie Curie

Laboratoire National de Métrologie et d'Essais



Janvier 2013



agence d'évaluation de la recherche  
et de l'enseignement supérieur

Section des Unités de recherche

Le Président de l'AERES

**Didier Houssin**

Section des Unités  
de recherche

*Le Directeur*

**Pierre Glaudes**

# Notation

À l'issue des visites de la campagne d'évaluation 2012-2013, les présidents des comités d'experts, réunis par groupes disciplinaires, ont procédé à la notation des unités de recherche relevant de leur groupe (et, le cas échéant, des équipes internes de ces unités). Cette notation (A+, A, B, C) a porté sur chacun des six critères définis par l'AERES.

NN (non noté) associé à un critère indique que celui-ci est sans objet pour le cas particulier de cette unité ou de cette équipe.

- Critère 1 - C1 : Production et qualité scientifiques ;
- Critère 2 - C2 : Rayonnement et attractivité académique ;
- Critère 3 - C3 : Interaction avec l'environnement social, économique et culturel ;
- Critère 4 - C4 : Organisation et vie de l'unité (ou de l'équipe) ;
- Critère 5 - C5 : Implication dans la formation par la recherche ;
- Critère 6 - C6 : Stratégie et projet à cinq ans.

Dans le cadre de cette notation, l'unité de recherche concernée par ce rapport et ses équipes internes ont obtenu les notes suivantes :

- Notation de l'unité : **Systèmes de Référence Temps-Espace**

C1	C2	C3	C4	C5	C6
A+	A+	A+	A+	A	A

- Notation de l'équipe : **Systèmes de Référence Célestes**

C1	C2	C3	C4	C5	C6
A	A	A	A	A	B

- Notation de l'équipe : **Rotation de la terre et géodésie spatiale**

C1	C2	C3	C4	C5	C6
A	A+	A+	A	A	A

- Notation de l'équipe : **Théorie et Métrologie**

C1	C2	C3	C4	C5	C6
A	A	A+	A	A+	A

- Notation de l'équipe : **Métrologie des fréquences Micro-ondes**

C1	C2	C3	C4	C5	C6
A+	A+	A+	A	A	B



• Notation de l'équipe : **Métrologie du temps**

C1	C2	C3	C4	C5	C6
A	A	A+	A	B	A

• Notation de l'équipe : **Métrologie des fréquences optiques**

C1	C2	C3	C4	C5	C6
A+	A+	A+	A+	A+	A+

• Notation de l'équipe : **Interférométrie atomique et capteurs inertiels**

C1	C2	C3	C4	C5	C6
A	A+	A	A+	A+	A+

• Notation de l'équipe : **Histoire de l'Astronomie**

C1	C2	C3	C4	C5	C6
A+	A+	A	A+	A	A+



# Rapport d'évaluation

Nom de l'unité :	Systèmes de Référence Temps-Espace
Acronyme de l'unité :	SYRTE
Label demandé :	UMR
N° actuel :	8630
Nom du directeur (2012-2013) :	M. Noël DIMARCO
Nom du porteur de projet (2014-2018) :	M. Noël DIMARCO

# Membres du comité d'experts

Président :	M. Luc BLANCHET, Institut d'Astrophysique de Paris, Paris
Experts :	M. Andreas BAUCH, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Brunswick, Allemagne
	M. Pierre CAYE, Centre Jean Pépin, Villejuif
	M. Gabriel CHARDIN, CNRS/IN2P3, Paris
	M <sup>me</sup> Agnès FIENGA, Observatoire de Besançon, Besançon
	M. Jean-Louis MONIN, Laboratoire d'Astrophysique de l'Observatoire de Grenoble (représentant du CNU)
	M <sup>me</sup> Geneviève SOUCAIL, Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie, Toulouse (représentante du CoNRS)
	M. Jean-Yves VINET, Observatoire de la Côte d'Azur, Nice
	M <sup>me</sup> Natalie WEBB, Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie, Toulouse (représentante du CNAP)
	M. Chris WESTBROOK, Institut d'Optique, Orsay



## Délégué scientifique représentant de l'AERES :

M. Michel BLANC

## Représentant(s) des établissements et organismes tutelles de l'unité :

M. Claude CATALA (OP)

M. Paul INDELICATO (UPMC)

M<sup>me</sup> Valérie MORAZZANI (LNE)

M. Denis MOURARD (INSU)

M. Guy PERRIN (OP)

M<sup>me</sup> Pascale ROUBIN (INP)

M. Gilles TRAIMOND (DR5)

M. Nicolas TREPS (UMPC)

## 1 • Introduction

### Historique et localisation géographique de l'unité

Le SYRTE est issu du DANOF (ancien département de l'Observatoire de Paris) qui incluait le LPTF (ancien Laboratoire Primaire des Temps et des Fréquences) et l'équipe LHA (ancien Laboratoire de l'Horloge Atomique). Le DANOF est devenu en 2002 le SYRTE, le LPTF et le LHA fusionnant pour constituer le pôle « Temps-Fréquence », en complément du pôle « Espace » regroupant les activités en « astronomie fondamentale » du DANOF. Le SYRTE comporte aussi un troisième pôle d' « Histoire de l'Astronomie ». Le SYRTE est un département de l'Observatoire de Paris et une UMR de l'Observatoire, du CNRS et de l'Université Pierre et Marie Curie. Le Laboratoire national de métrologie et d'essais est une tutelle partenaire de l'unité. Il est situé au 77 avenue Denfert-Rochereau, Paris 14ème.

### Équipe de Direction

M. Noël DIMARCO, directeur ; M. Jean SOUCHAY, directeur adjoint ; M<sup>me</sup> Marine PAILLER, administratrice.

### Nomenclature AERES

ST2, ST3, ST5, SHS6-1





### Effectifs de l'unité

Effectifs de l'unité	Nombre au 30/06/2012	Nombre au 01/01/2014	2014-2018 Nombre de produisants du projet
<b>N1</b> : Enseignants-chercheurs titulaires et assimilés	11	11	11
<b>N2</b> : Chercheurs des EPST ou EPIC titulaires et assimilés	20	18	18
<b>N3</b> : Autres personnels titulaires (n'ayant pas d'obligation de recherche)	27	26	5
<b>N4</b> : Autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)	1	0	
<b>N5</b> : Autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, Post-doctorants, visiteurs etc.)	22	22	
<b>N6</b> : Autres personnels contractuels (n'ayant pas d'obligation de recherche)	3	3	0
<b>TOTAL N1 à N6</b>	<b>84</b>	<b>80</b>	<b>34</b>

Taux de producteurs	<b>66,66 %</b>
---------------------	----------------

Effectifs de l'unité	Nombre au 30/06/2012	Nombre au 01/01/2014
Doctorants	20	
Thèses soutenues	35	
Post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité *	25	
Nombre d'HDR soutenues	4	
Personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	13	13

## 2 • Appréciation sur l'unité

### Points forts et possibilités liées au contexte

Le SYRTE est un laboratoire très dynamique, avec de nombreux projets et des équipes jeunes et très motivées. La qualité globale des recherches et des activités qui y sont menées est remarquable (mais avec des variations selon les équipes). Le SYRTE bénéficie d'une très bonne reconnaissance internationale, et occupe des responsabilités importantes dans de nombreuses institutions nationales et internationales. Il joue enfin un rôle unique de service national pour la métrologie en France.

### Points à améliorer et risques liés au contexte

Une faiblesse actuelle est liée à l'équipe de direction qui ne comprend plus qu'un seul directeur adjoint au lieu de deux auparavant. Il y a un besoin de renforcer la direction car le directeur actuel est en surcharge de travail. Le problème va aussi se poser crucialement avec la fin de son mandat. Dans l'idéal il faudrait épauler le directeur par deux adjoints chargés respectivement du pôle métrologie Temps-Fréquence et du pôle Espace, ce qui était le cas lors de la précédente visite de l'AERES. Le directeur actuel pense à juste titre que les jeunes chercheurs du laboratoire qui seraient susceptibles de jouer le rôle de directeur du pôle T-F sont en pleine période créative et ont un potentiel scientifique important qu'il serait dommage de limiter par des fonctions administratives.

Il y a une demande pour que le conseil scientifique (CS) du SYRTE soit régulièrement convoqué pour discuter des orientations scientifiques du laboratoire, incluant l'arrêt ou le démarrage de nouvelles expériences. Cette demande est particulièrement claire parmi les personnels techniques du laboratoire, dont la plupart se retrouvent impliqués a posteriori sur les projets.

Le comité a également noté certains problèmes de communication entre services de support technique et équipes porteur de projet, peut-être liés à un manque d'organisation en amont des projets. Si l'information passe mal entre services techniques et équipes, il pourrait être utile de réfléchir à la nomination éventuelle d'un « directeur technique », qui permettrait de conseiller le directeur sur l'utilisation optimale des ITAOSS en fonction des projets.

Au cours des exposés et des visites, le comité a noté un certain isolement du pôle Espace. Ceci semble vrai non seulement par rapport à la communauté scientifique connexe (voir le rapport détaillé concernant les équipes de ce pôle), mais aussi par rapport au reste du laboratoire. Des actions pourraient être envisagées au niveau du laboratoire (sous forme de séminaires internes ou d'« AG scientifiques »?) pour rapprocher ce pôle de la partie T-F.

Les personnels techniques de l'unité ont un besoin légitime de reconnaissance pour leurs réalisations qui sont quelquefois reprises et utilisées à l'extérieur sans mention de leur origine. Une solution, qui a déjà été encouragée par le directeur, consiste à augmenter le nombre de publications dans des revues techniques ou d'instrumentation. Mais pourquoi ne pas aussi créer une sorte de label technique « Atelier SYRTE » ?

Le comité a entendu des remarques sur les « chercheurs-ingénieurs » du Laboratoire National de Métrologie et d'Essais (LNE) qui ne participeraient pas assez aux tâches d'intérêt général et de service technique. Cela entraîne au minimum une frustration parmi le personnel ITA. Cette frustration peut, à terme, être déstabilisante et il faut en tenir compte. Le comité fait cependant valoir que les contributions des chercheurs-ingénieurs du LNE en tant que chercheurs sont remarquables.

Bien que l'effectif ait globalement augmenté, le laboratoire a subi une série préoccupante de départs à la retraite. On peut noter qu'après deux départs en retraite il ne reste plus aucun membre du laboratoire en section 02 du CNRS (Physique théorique). Ceci est regrettable au vu des activités de physique fondamentale du groupe « théorie ». De même, le départ à la retraite prochain du responsable de l'équipe « Rotation de la Terre » n'est pas sans susciter d'inquiétude.

Lors de la visite dans les sous-sols du bâtiment B, le comité a souvent entendu parler de l'exiguïté des locaux. Il y a également un problème de regroupement des locaux du pôle Histoire. Les étudiants se plaignent de l'exiguïté des locaux avec parfois quatre personnes dans un petit bureau, ou d'avoir (pour certains) leur bureau isolé et excentré par rapport au laboratoire. Les locaux sont également assez vétustes mais cela ne semble pas être le problème principal par rapport au manque de place.

Le comité a relevé un certain nombre de points :

- Un membre de la direction pourrait s'occuper du personnel ITA notamment pour l'aide à la gestion de leur carrière. Concernant leur avancement, une meilleure représentation du SYRTE dans les commissions paritaires d'interclassement est souhaitée ;
- Un meilleur soutien aux étudiants et visiteurs étrangers non francophones pourrait être organisé via un service d'accueil centralisé (aide aux démarches administratives, etc...) ;
- La cellule H&S (Hygiène et Sécurité) estime que l'Observatoire n'apporte pas un soutien suffisant pour mettre en place les règles d'H&S qui s'alourdissent constamment ;
- Les étudiants demandent à pouvoir faire le point sur l'avancement de leur thèse une fois par an avec un référent scientifique ; ils souhaiteraient recevoir plus d'informations sur les débouchés post-thèse.

### Recommandations :

Le comité soutient fortement le directeur et les tutelles dans leur démarche pour trouver une personnalité extérieure capable de prendre le relais pour la direction de l'unité. Sa bonne réputation devrait attirer de bons candidats extérieurs.

Le comité recommande que le pôle « Espace » du SYRTE développe plus de coopérations avec l'équipe « Théorie et Métrologie » en interne, avec l'IMCCE (Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides) dans l'Observatoire de Paris, et plus largement au niveau national. En effet, des collaborations plus étroites en astrophysique (Observatoire de Bordeaux, Centre de Données astronomiques de Strasbourg (CDS), Institut d'Astronomie de Paris (IAP) sur la physique des quasars, les catalogues stellaires, les modèles relativistes de quasars binaires), en planétologie (IMCCE, Laboratoire d'Etudes Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique - LESIA-) sur les éphémérides lunaires, la physique interne de la lune et des planètes du système solaire, la physique des astéroïdes), et en géophysique du globe (Institut de Physique du Globe -IPG-, Ecole Normale Supérieure -ENS-/Géophysique) permettraient de développer de nouveaux champs de recherche et d'accroître l'attractivité et la dynamique des équipes de ce pôle.

Bien qu'il y ait eu un nombre satisfaisant de promotions dans les années récentes, il reste plusieurs jeunes chercheurs qui devraient être promus, par exemple en DR2. Le comité a noté plusieurs cas de chercheurs très productifs et valeureux mais qui n'ont pas encore passé leur HDR. Or, l'HDR est une occasion importante de faire le point sur l'évolution de sa recherche, et favorise le débat académique au sein du laboratoire lors de la soutenance. Le comité recommande que les jeunes chercheurs passent leur HDR dès que possible de façon à ce qu'ils ne soient pas freinés dans l'évolution de leur carrière au moment de la compétition pour les promotions.

### 3 • Appréciations détaillées

#### Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

La production de l'unité et sa qualité sont de premier plan. On observe des résultats scientifiques très marquants et souvent impressionnants, avec des « premières » dans la métrologie des fréquences optiques, des résultats exceptionnels sur les fontaines micro-ondes, des travaux au meilleur niveau international en interférométrie atomique, la qualité et la disponibilité du service de dissémination du temps et des fréquences, et une bonne visibilité du pôle Espace par ses responsabilités internationales.

Tous ces travaux sont appuyés par une équipe transversale « Théorie », très proche des activités de l'unité, qui interprète les résultats des expériences du laboratoire en termes de physique fondamentale sans négliger d'apporter de surcroît des nouvelles idées d'expériences.

Le SYRTE possède aussi une excellente équipe d'Histoire de l'Astronomie dont la qualité et la richesse de la production scientifique contribuent à son rayonnement.

#### Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

Le laboratoire est une référence mondiale dans plusieurs domaines, avec un grand rayonnement scientifique pour ses records instrumentaux de performance et de sensibilité, et ses participations à de grands projets spatiaux comme Pharaon-ACES, GAIA, STE-Quest, ainsi que dans le développement et opérations de EGNOS et Galileo.

Le laboratoire a des responsabilités internationales et nationales très importantes, notamment :

- Responsabilité pour la contribution principale à l'étalonnage du temps atomique international (TAI) avec un poids des horloges primaires de près de 50% (selon la définition du BIPM) ;
- Responsabilité des deux sous-groupes EOP (Earth Orientation Parameters) et ICRS (International Celestial Reference System) du service international des paramètres de rotation de la Terre et des Systèmes de Référence Célestes ;
- Co-responsabilité du centre d'analyse et de données du service international VLBI (Very Long Baseline Interferometry) pour la géodésie et l'astrométrie ;
- Responsabilité pour le centre d'analyse POLAC (Paris Astronomy Lunar Analysis Center) pour le laser Lune au sein du ILRS (International Laser Ranging Service).

#### Appréciation sur l'interaction avec l'environnement social, économique et culturel

L'unité entretient plusieurs collaborations industrielles (comme celle dans le cadre du projet « MINIATOM ») et est à l'origine de la « start-up »  $\mu$ Quans co-fondée par l'un des membres du SYRTE pour le développement et la production d'un gravimètre et d'horloges compactes à atomes froids.

Le SYRTE a une position de service national absolument irremplaçable et unique en France, avec la fourniture de références de temps, la construction du temps légal français et sa diffusion avec le « top » de France Inter, l'horloge parlante, etc.

L'équipe Histoire s'investit beaucoup dans des activités de diffusion du savoir scientifique notamment au moyen de son activité éditoriale particulièrement soutenue.

#### Appréciation sur l'organisation et la vie de l'unité

Les équipes sont soudées et solidaires. L'effectif global du laboratoire a augmenté depuis la dernière évaluation AERES. Le comité note que depuis la précédente visite de l'AERES il y a eu une série très satisfaisante de promotions de « jeunes » chercheurs (notamment une en DR1, trois en DR2, une en PR2), ce qui témoigne de l'excellente qualité des chercheurs de l'unité. L'unité a également obtenu un nombre important de promotions des ITA. Il faut enfin noter aussi le dynamisme de l'unité avec des succès remarquables aux appels d'offres et aux programmes d'investissement d'avenir (notamment LabEx et EquipEx).

### Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

L'unité présente une très forte composante jeune. Il y a en moyenne 8 post-doctorants et 20-25 doctorants (notamment de l'ED127 Astronomie & Astrophysique d'Ile-de-France), qui ne semblent guère rencontrer de problème à l'issue de leur thèse pour trouver des contrats de post-docs ou des postes dans l'industrie.

### Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

A la lecture du projet du SYRTE celui-ci paraît parfois un peu « conservatif ». Si l'importante activité de service du SYRTE ne peut être changée, un peu plus de recul par rapport aux thématiques de recherche serait souhaitable. Plus généralement, le comité trouve qu'il manque, dans certaines équipes, des exercices réguliers de prospective scientifique et/ou technique, comme dans l'équipe « Fréquences Micro-Ondes » (potentiel des horloges compactes) et dans l'équipe « Théorie », notamment au niveau des priorités scientifiques qu'il faudrait afficher.



## 4 • Analyse équipe par équipe

**Thème 1 :** Pôle Espace

**Nom du responsable :** M. Jean SOUCHAY

Effectifs du thème en Équivalents Temps Plein	Au 30/06/2012	Au 01/01/2014
ETP d'enseignants-chercheurs titulaires	8	7
ETP de chercheurs des EPST ou EPIC titulaires	0	0
ETP d'autres personnels titulaires n'ayant pas d'obligation de recherche (IR, IE, PRAG, etc.)	5	5
ETP d'autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)	0	0
ETP de post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité	0	
ETP d'autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, etc.) hors post-doctorants	0	0
ETP d'autres personnels contractuels n'ayant pas d'obligation de recherche	0	0
Visiteur de longue durée et affilié	2	2
ETP de doctorants	4	
<b>TOTAL</b>	<b>19</b>	<b>14</b>

Le Thème 1 correspond au « Pôle Espace » du laboratoire qui comprend 3 équipes incluant l'équipe transverse Théorie et Métrologie qui est à cheval entre ce Pôle (Espace) et le Pôle Temps-Fréquence :

- Systèmes de Référence Célestes ;
- Rotation de la Terre et Géodésie Spatiale ;
- Théorie et Métrologie.

**Équipe 1 :** Systèmes de Référence Célestes

**Nom du responsable :** M. Jean SOUCHAY

## • Appréciations détaillées

L'équipe « Systèmes de Référence Célestes » regroupe les activités de recherche et de service liées à la définition de repères de référence célestes inertiels (via les observations des quasars) et dynamiques (via les observations laser lune, LLR) en longueurs d'ondes radio et optiques.

### Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

Dans le cadre de l'IVS (International VLBI Service), cette équipe a une forte activité de service par sa contribution importante dans la réalisation du repère de référence céleste international, l'ICRF (International Celestial Reference Frame), en longueur d'onde radio par l'analyse d'observations VLBI de sources extragalactiques stables. L'équipe a participé de façon active à la construction du nouveau repère ICRF2, publié en 2009. Ce nouveau système de référence constitue une amélioration très sensible dans la précision astrométrique des sources VLBI et dans les mesures géodésiques liées à la rotation terrestre. Cette activité a aussi permis la mesure précise du paramètre PPN (Parametrized Post-Newtonian)  $\gamma$  de déflexion de lumière et la mise en évidence de l'aberration galactique (accélération du système solaire vers le centre galactique) dans les séries d'observations utilisées pour la construction de l'ICRF2. Ces résultats importants montrent la bonne synergie entre activités de recherche et de service menées dans le cadre de l'IVS. Ils sont le résultat d'une expertise acquise depuis de nombreuses années et qui est internationalement reconnue. Ils viennent compléter ceux obtenus par l'équipe « Rotation de la Terre » utilisant la même technique VLBI et les mêmes observations de quasars.

Des interactions plus fortes notamment avec l'Observatoire de Bordeaux, pourraient cependant être mises en place.

Par ailleurs, l'équipe participe activement à la préparation de la mission GAIA de l'Agence Spatiale Européenne (ESA). Elle a pris en charge la mise en place du futur suivi journalier au sol de la mission via des observations optiques automatisées (programme GBOT du CU3). Les procédures d'analyse astrométrique ont été développées et sont en cours de validation.

Une base de données multi-longueurs d'ondes des caractéristiques physiques (astrométrie, photométrie, morphologie) des quasars a aussi été mise en place (LOAC). Ces travaux ont demandé un grand investissement de l'équipe mais ne semblent pas déboucher vers une exploitation scientifique prometteuse pour cette dernière.

L'équipe héberge également les activités liées au centre d'analyse des données LLR de l'observatoire de Paris, POLAC, qui regroupe, analyse et distribue les données issues des tirs laser à la surface de la Lune réalisées notamment par la station de télémétrie laser Méo de l'Observatoire de la Côte d'Azur (ACA). Une utilisation scientifique est ensuite effectuée par l'équipe pour la construction d'une théorie semi-analytique du mouvement et de la libration lunaire ELP, le lien entre le repère dynamique de ELP et l'ICRF, l'estimation du paramètre de la terre UTO (jusqu'en 2005, le LLR n'étant plus utilisé depuis) et du mouvement du pôle céleste (thèse encadrée par l'équipe « Rotation de la Terre »).

De plus, l'équipe a mené une activité sur l'étude de la rotation des planètes (Vénus) et des astéroïdes. Un programme d'observation d'astéroïdes au télescope Subaru a permis d'obtenir des courbes de rotation de ces objets. Comme déjà mentionné ailleurs, le comité encourage les scientifiques à poursuivre cette activité, mais en ouvrant aux collaborations extérieures, en bénéficiant en particulier d'expertises complémentaires sur le campus parisien.

Enfin, le comité se demande pourquoi les études des rotations de planètes et d'astéroïdes ne sont pas présentées dans le cadre de l'équipe « Rotation de la Terre » plutôt que dans l'équipe « Systèmes de Référence Célestes ».

### Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

L'équipe s'implique fortement dans des services fondamentaux pour la communauté scientifique non seulement en astronomie, mais aussi en géodésie spatiale et en direction des opérateurs spatiaux. La maîtrise des catalogues astrométriques de référence justifie son engagement dans la préparation et le suivi de la mission GAIA.

### Appréciation sur l'interaction avec l'environnement social, économique et culturel

Le comité apprécie la participation de l'équipe à l'écriture des livres d'histoire de l'astronomie et l'édition des livres de physique ainsi que la diffusion de connaissances au grand public et les parrainages de l'Observatoire de Paris à destination des enseignants des écoles, collèges et lycées.

### Appréciation sur l'organisation et la vie de l'équipe

Le comité apprécie l'organisation des séminaires « Temps & Espace » avec les membres de l'IMCCE, qui est une très bonne manière d'encourager des échanges scientifiques entre équipes des deux laboratoires. Le comité encourage l'équipe « Systèmes de Référence Célestes » à continuer de tisser des liens avec d'autres membres du SYRTE ainsi qu'avec d'autres groupes dans d'autres instituts, afin de développer des collaborations scientifiques fructueuses.

### Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

Les membres de l'équipe encadrent régulièrement des doctorants, malgré le faible nombre de personnes habilitées à diriger des recherches. L'équipe est fortement impliquée dans l'organisation d'écoles thématiques et dans l'enseignement au niveau Master et à l'Ecole Doctorale.

### Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

Le projet de recherche de l'équipe s'oriente vers plusieurs voies vers lesquelles le comité a des avis variables et qui sont détaillés ci-dessous. Tout d'abord l'équipe, qui a renforcé son implication dans GAIA au cours des dernières années, a monté un projet de recherche ambitieux centré sur le suivi des opérations de GAIA et son exploitation scientifique. Mais le comité s'inquiète de l'ampleur de la tâche de service proposée du suivi du satellite GAIA via des observations optiques (programme GBOT). Ce projet est porté par un petit nombre de chercheurs et d'ITA au sein de l'équipe. Malgré une automatisation poussée des procédures d'analyse, en cours de développement avant le lancement de GAIA, le suivi opérationnel du positionnement du satellite risque de submerger les activités de service d'observation de l'équipe. Le comité recommande fortement que, sous la coordination de l'équipe (via des conventions), des partages des flux de données puissent être envisagés avec d'autres laboratoires experts dans ces domaines (IMCCE, OCA) et impliqués dans le suivi de GAIA.

D'autre part l'avenir de l'activité du centre d'analyse des données LLR (POLAC) au sein de l'équipe est un sujet d'inquiétude du fait, d'une part, des départs à la retraite des principaux intervenants dans ce domaine et, d'autre part, de la modification du paysage national et international autour des données LLR avec l'émergence depuis 2008 des éphémérides planétaires et lunaire INPOP - (Intégration Numérique Planétaire de l'Observatoire de Paris - (IMCCE-OCA), de la jouvence de la station d'observation Méo, et de la mise en service de la station APOLLO.

Par ailleurs le comité émet des réserves sur le projet de recherche proposé autour de la constitution du catalogue de quasars LQAC/LQAC-2. La communauté nationale et internationale intéressée par l'exploitation scientifique de ce catalogue semble mal identifiée et la mise en forme du catalogue dans une base de données à grande visibilité ne se fera que si l'équipe développe rapidement des collaborations extérieures avec des scientifiques spécialistes de la physique et la distribution des quasars. Le comité encourage très fortement l'équipe à construire de telles collaborations et à prendre des contacts avec le Centre de Données astronomiques de Strasbourg (CDS) pour les développements d'Observatoires Virtuels (OV) et l'intégration de données multi-longueur d'onde de ces objets.

Enfin, les activités liées à la mise en place et à l'exploitation scientifique de l'ICRF pourraient être renforcées par le développement de collaborations plus soutenues au niveau national notamment avec l'Observatoire de Bordeaux et l'équipe Métrologie, Astrodynamique et Astrophysique qui ont montré leur expertise dans l'étude des structures des quasars.



## Conclusion

Au cours de la visite, l'équipe « Systèmes de Référence Célestes » a présenté des résultats scientifiques intéressants et a démontré l'impact et l'importance des activités de service menées, principalement dans le cadre de l'ICRF2. Néanmoins le comité considère que les activités de l'équipe présentent un caractère assez isolé et trop éloigné des communautés scientifiques qui pourraient y être sensibles (cosmologistes, physiciens des quasars pour l'étude multi-longueurs d'ondes de ces objets, planétologues pour les astéroïdes et le LLR, théoriciens de la gravitation pour le LLR). Le comité encourage vivement l'équipe à établir des liens avec ces communautés afin de développer de nouvelles collaborations fructueuses.

**Équipe 2 :** Rotation de la Terre et Géodésie Spatiale

**Nom du responsable :** M. Daniel GAMBIS

- **Appréciations détaillées**

#### Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

L'équipe « Rotation de la Terre et Géodésie Spatiale » regroupe les activités de modélisation et d'observation de la rotation de la Terre. Comme l'équipe « Systèmes de Référence Célestes », cette équipe a une forte activité de service dans le cadre d'organismes internationaux (IERS, UAI, IVS).

En particulier cette équipe produit des données uniques sur les détails de la précession et de la nutation terrestres pour l'IERS. Ces données proviennent du traitement de l'information fournie par différents canaux d'observation : DORIS (CNES), GPS, VLBI, LLR (OCA-MéO, Apache Point Obs., etc.). Ces variations de précession et de nutation sont reliées à la structure superficielle et interne du globe terrestre, si bien que le couplage avec la géophysique est clair. Des interactions fructueuses ont ainsi été développées avec l'IPG de Strasbourg concernant le suivi de la « Free Core Nutation » par mesures VLBI et de gravimètres à supraconducteurs. De même, la recherche de la « Free Inner Core Nutation » dans les données VLBI a pu être menée dans ce cadre. Le comité reconnaît la grande implication de cette équipe dans les activités de service autour de la rotation terrestre et dans leur exploitation scientifique. L'aspect interdisciplinaire de ce travail avec des géophysiciens est un atout qui doit être renforcé.

Ces travaux permettent des avancées importantes dans la compréhension des couplages entre la rotation de la terre et des phénomènes globaux tels que la redistribution des masses dans l'atmosphère, les océans, la couche hydrique des continents, l'activité solaire et les séismes. Diverses méthodes et techniques d'observations géodésiques sont utilisées pour ces études : VLBI, GPS, SLR, LLR en collaboration avec l'IMCCE, l'OCA, le LESIA et dans le cadre national du GRGS (Groupement de Recherche en Géodésie Spatiale). L'aspect multi-technique sera renforcé afin d'effectuer des estimations cohérentes des EOPs sur l'ensemble du spectre temporel offert par les différentes techniques. Cela permettra une meilleure résolution temporelle des EOPs (Earth Observation Parameters), et ainsi une meilleure estimation des fluctuations rapides (< un jour) de la nutation et une meilleure détermination des forçages géophysiques. A titre d'exemple, l'apport des données GPS a permis de déterminer des variations de courtes périodes de la nutation (thèse K. Yao). Dans cette optique, des analyses plus précises des données GNSS seront aussi effectuées. De nouveaux développements dans la théorie de rotation de la Terre sont prévus afin de mieux modéliser les phénomènes de marées du pôle et de mieux comprendre les variations saisonnières des EOPs.

#### Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

L'équipe a un rayonnement international important par son activité au sein de l'IERS, du calcul, de la diffusion, de la prédiction et de l'archivage des paramètres de rotation de la Terre (EOPs) nécessaires aux communautés astronomique, géophysique et à l'industrie spatiale. Elle a une forte activité fédératrice (chair à l'Union Astronomique Internationale -UAI-), organisation des journées « Systèmes de référence spatio-temporels » dans la communauté internationale de l'astronomie fondamentale, à cheval entre la planétologie, la géophysique et la métrologie. Elle a aussi de fortes contraintes opérationnelles qu'elle assure avec succès.

#### Appréciation sur l'interaction avec l'environnement social, économique et culturel

Le comité apprécie la participation aux ouvrages et articles à destination du grand public ainsi que la diffusion de connaissances grâce à des conférences et des visites publiques.

### Appréciation sur l'organisation et la vie de l'équipe

Le comité apprécie la création de plusieurs groupes afin d'encourager des échanges scientifiques entre les membres de l'équipe ainsi qu'avec des chercheurs extérieurs au SYRTE. Ces activités montrent un grand dynamisme de cette équipe, avec des membres très ouverts.

### Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

Cinq thèses ont été encadrées au sein de l'équipe. Le comité apprécie l'effort qui a été conduit par les jeunes chercheurs qui ont soutenu leur HDR. L'équipe est impliquée dans l'organisation d'écoles thématiques et dans l'enseignement au niveau Master ainsi que l'encadrement de plusieurs stages d'étudiant en Master.

### Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

Le projet scientifique de l'équipe « Rotation de la Terre et Géodésie Spatiale » porte principalement sur le renforcement des études sur le couplage entre la rotation de la Terre et le mouvement des grandes masses fluides de la planète (intérieurs et enveloppes). Pour cela, il est recommandé d'amplifier et de concrétiser les interactions avec les géophysiciens et physiciens de l'atmosphère qui peuvent orienter certaines recherches sur une meilleure compréhension de ces couplages. Dans ce cadre, l'expertise extrêmement pointue et de qualité apportée par les scientifiques de l'équipe n'en sera que plus productive.

### Conclusion

Il est clair que l'activité de cette équipe est au cœur de la compétence du SYRTE et lui donne une excellente visibilité internationale.

Il semble néanmoins qu'une coopération encore plus étendue avec le secteur des Sciences Terre-Mer-Atmosphère pourrait bénéficier à la fois à ce secteur et au SYRTE.

Des études associant des géophysiciens de l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg (IPGS) et le département géophysique de l'ENS dans le cadre du PRES « Paris Sciences et Lettres » ont été amorcées. Le comité recommande à l'équipe de renforcer ces collaborations.

Le départ prochain à la retraite du responsable actuel pourrait être une source d'inquiétude, cette équipe ayant besoin d'un fort leadership pour s'imposer dans des directions innovantes.

**Équipe 3 :** Théorie et Métrologie

**Nom du responsable :** M. Peter WOLF

### • Appréciations détaillées

L'équipe « Théorie et Métrologie », de nature transversale, est très importante pour les activités et la prospective du laboratoire. Cette équipe :

- Participe à la définition des objectifs scientifiques des missions spatiales (ACES, STE-Quest, etc.) ;
- Simule des données de navigation de sondes spatiales et d'astrométrie (propagation de la lumière dans le système solaire) pour tester les lois de la gravitation ;
- Interprète en termes de physique fondamentale les expériences du laboratoire (invariance de Lorentz, principe d'équivalence, variation des constantes fondamentales, tests du redshift gravitationnel) ;
- Propose des idées d'expériences nouvelles comme FORCA-G et les modélise ;
- Réalise des logiciels d'analyse des données pour des missions spatiales (ACES avec le lien MWL).

### Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

L'équipe est très impliquée dans la préparation des missions spatiales. Concernant ACES/PHARAO elle réalise le logiciel pour le traitement des données du lien micro-ondes (MWL) pour le segment sol de la mission, avec notamment la modélisation relativiste du transfert deux-voies de temps et de fréquence par le MWL. Pour GAIA l'équipe modélise la trajectoire des photons dans le champ gravitationnel du système solaire. Une nouvelle approche théorique basée sur le développement post-minkowskien avait été introduite il y a quelques années par les membres de l'équipe. Cette méthode est excellente et est toujours utilisée, actuellement à l'ordre 2PM avec un redéveloppement en post-newtonien jusqu'à l'ordre 1PN (prenant en compte des défecteurs en mouvement et avec moment quadrupolaire).

Plusieurs résultats de l'équipe sont très intéressants, notamment la mesure du paramètre PPN gamma par la déviation de la lumière dans les observations VLBI. Dans l'avenir une telle mesure pourrait être au niveau de celle obtenue avec les données de la sonde Cassini. Une thèse récente a montré la possibilité de tester certaines théories alternatives avec les données de radio-navigation des sondes dans le système solaire. Une étude théorique a conclu que les interféromètres atomiques ne permettent pas de mesurer le décalage gravitationnel (effet Einstein) dans le champ terrestre, contrairement à des affirmations erronées récentes. Une activité de l'équipe en plein développement concerne la géodésie relativiste basée sur la mesure de la différence de potentiel gravitationnel par effet Einstein dans des comparaisons d'horloges.

L'équipe a suggéré l'expérience FORCA-G, actuellement en développement, expérience innovante qui comporte un certain risque scientifique. La démonstration de principe a été publiée mais aucune mesure de force n'a encore été faite. Le groupe développe un modèle numérique pour l'interprétation de l'expérience. Curieusement la présentation qu'en fait l'équipe théorique (et par suite aussi les expérimentateurs qui travaillent sur l'expérience) pourrait induire en erreur. Au lieu de présenter l'expérience FORCA-G comme une mesure de la force de gravitation à petite distance (comme son nom l'indique, où le G se réfère à Gravitation), il vaudrait mieux parler d'expérience de recherche d'une hypothétique « 5ème force », qui se superposerait à la gravitation à petite distance mais qui serait beaucoup plus intense. Cette recherche de 5ème force ne sera possible que lorsque la contribution de l'effet Casimir-Polder aura été correctement soustraite. A noter une collaboration suivie de l'équipe avec le LKB (Laboratoire Kastler-Brossel) pour le calcul de la force de Casimir-Polder.

L'équipe semble avoir stoppé ses activités et réflexions sur des projets spatiaux ambitieux comme SAGAS (satellite avec horloges atomiques embarquées visant à tester plusieurs aspects de la gravitation relativiste à grande distance dans le système solaire). Il est vrai qu'une partie de la motivation de SAGAS a disparu avec la probable explication de l'anomalie « Pioneer ». Mais tester la loi de la gravitation à grande distance du Soleil (et aussi explorer indirectement la ceinture de Kuiper) devrait rester une motivation importante pour l'équipe. Cependant celle-ci participe activement à la définition de la mission STE-Quest qui devrait tester le principe d'équivalence en orbite par interférométrie atomique, ainsi que le redshift avec une précision accrue par rapport à PHARAO-ACES.

L'activité sur « mini-DOLL » consiste en une mesure *in situ* de l'influence de la turbulence atmosphérique par un lien optique cohérent en espace libre. Le but est de parvenir à calibrer les simulations numériques de l'influence de l'atmosphère lors des tirs satellites, et aussi pour le LLR et les liens optiques des missions futures comme STE-Quest. Cette activité, purement expérimentale, est prometteuse et importante. Le comité note la remarquable polyvalence de l'équipe qui est capable de mener des expériences sur le terrain et par ailleurs de réfléchir à des interprétations ardues de physique fondamentale. Cependant on peut se demander pourquoi l'expérience mini-DOLL est poursuivie par l'équipe « Théorie et Métrologie » plutôt que par l'équipe « Métrologie du Temps ».

Globalement, l'équipe développe une activité de très bon niveau, avec son implication dans tous les projets spatiaux du laboratoire et dans plusieurs expériences particulièrement innovantes, en laboratoire et en espace libre.

### Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

Par l'étendue de ses activités et de ses projets (souvent originaux) l'équipe a un bon rayonnement scientifique et attire de nombreux jeunes.

### Appréciation sur l'interaction avec l'environnement social, économique et culturel

Les activités s'insèrent parfaitement dans les thématiques du laboratoire et sont bien coordonnées avec les autres groupes dans le monde et les équipes des projets spatiaux. L'équipe participe avec l'IMCCE et d'autres instituts avec la collaboration ENCELADE sur les satellites des planètes, et au prochain appel de mission M4 à l'ESA avec le projet GETEMME. L'équipe a plusieurs responsabilités importantes : action spécifique GRAM de l'INSU (Institut National des Sciences de l'Univers), de l'INP (Institut de Physique) et du CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) qu'elle a contribué à créer (Centre National d'Etudes Spatiales), vice-présidence du conseil d'administration de l'Observatoire de Paris. Elle organise régulièrement les colloques GPhys.

### Appréciation sur l'organisation et la vie de l'équipe

Il ne semble pas y avoir de problème particulier pour l'organisation et la vie de cette équipe.

### Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

Deux membres de l'équipe sont enseignants-chercheurs (UPMC) et s'investissent fortement dans des activités d'enseignement à divers niveaux en Licence et Masters, avec la co-direction du Master de physique de l'UPMC. Des stages M2 et des thèses sont régulièrement proposés.

### Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

L'équipe va s'impliquer dans les années qui viennent sur la phase opérationnelle de ACES, avec le développement d'un prototype de logiciel permettant de simuler l'analyse des données. Sur STE-Quest (qui est actuellement en compétition pour la mission M3 à l'ESA) le groupe participera à l'élaboration des motivations et des objectifs scientifiques notamment par rapport à la mission Microscope.

L'équipe a affiché une priorité sur l'utilisation des données du LLR (et de LRO) pour effectuer des tests de relativité générale et du principe d'équivalence. Une telle priorité est importante au vu de la forte contribution française à la production des données LLR, mais paradoxalement à sa relativement plus faible contribution à leur utilisation. Une collaboration avec l'IMCCE serait bienvenue sur cette thématique.

Le comité pense que l'équipe pourrait faire un effort plus régulier de prospective scientifique à long terme (en dehors des projets obligatoires comme ACES, GAIA, etc.), ce qui serait très utile pour établir des priorités scientifiques parmi tous les projets.

## Conclusion

Les travaux de l'équipe sont d'excellente qualité. Le comité a beaucoup apprécié le fait que l'équipe soit extrêmement bien intégrée aux thématiques du laboratoire. L'équipe est créative, avec un grand foisonnement d'activités et de projets. On pourrait même se plaindre d'un trop grand nombre de projets, mais le comité considère que c'est une situation très favorable pour un groupe « théorie » en amont, à condition qu'une prospective scientifique régulière soit faite.

L'équipe devrait être renforcée dans les années qui viennent et continuer à s'inscrire au cœur de la prospective du SYRTE. On peut regretter que depuis deux départs à la retraite elle ne comporte plus de chercheurs de la section 02 du CNRS (Physique théorique).



**Thème 2 :** Pôle Temps Fréquence

**Nom du responsable :** M. Noël DIMARCO

Effectifs du thème en Équivalents Temps Plein	Au 30/06/2012	Au 01/01/2014
ETP d'enseignants-chercheurs titulaires	3	3
ETP de chercheurs des EPST ou EPIC titulaires	17	17
ETP d'autres personnels titulaires n'ayant pas d'obligation de recherche (IR, IE, PRAG, etc.)	15	15
ETP d'autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)		
ETP de post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité	5	
ETP d'autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, etc.) hors post-doctorants	1	1
ETP d'autres personnels contractuels n'ayant pas d'obligation de recherche	3	
Visiteur de longue durée et affilié	8	8
ETP de doctorants	16	
<b>TOTAL</b>	<b>68</b>	<b>44</b>

Le Thème 2, ou Pôle Temps-Fréquence de l'unité, comprend 5 équipes, dont l'équipe transverse Théorie et Métrologie (traitée ci-dessus) qui est à cheval entre le « Pôle Espace » et ce Pôle :

- Métrologie des Fréquences Micro-Ondes ;
- Métrologie du Temps ;
- Métrologie des Fréquences Optiques ;
- Interférométrie Atomiques et Capteurs Inertiels ;
- Théorie et Métrologie.

**Équipe 4 :** Métrologie des Fréquences Micro-Ondes

**Nom du responsable :** M. Philippe LAURENT

## • Appréciations détaillées

### Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

Le développement et les opérations pratiquement continues de trois fontaines à atomes froids, parmi lesquelles F0-2 qui fonctionne simultanément avec deux espèces atomiques (Rb et Cs), représentent un accomplissement admirable de cette équipe et des pôles techniques associés (MUTA et électronique). La fiabilité et le sérieux des opérations de maintenance pendant la période évaluée sont remarquables.

Le deuxième axe majeur de travail de l'équipe concerne le support scientifique pour le développement et la qualification du modèle d'ingénierie et de vol de l'horloge PHARAO. Cette activité dure depuis plusieurs années et a été sujette à des retards qui ne sont pas imputables à des déficiences dans le travail de l'équipe. La mission ACES a évolué pendant ces années du statut de simple démonstrateur technologique à celui d'une véritable mission à caractère scientifique.

L'équipe s'est d'autre part engagée dans des projets reliés à des standards de fréquences atomiques de petite taille (horloges compactes), basés sur des cellules à gaz et des puces atomiques ("chip-scale atomic clocks", CSAC). Ces domaines de recherche requièrent évidemment de la flexibilité et de l'inventivité, mais le comité a néanmoins noté le manque de stratégie claire de l'équipe sur les buts à atteindre et comment y parvenir.

### Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

En plus des opérations de service, des résultats remarquables de physique fondamentale et appliquée ont été obtenus et publiés. On doit mentionner le test de LPI (Local Position Invariance) basé sur la comparaison Rb/Cs, l'étude de la distribution de phase dans une cavité micro-onde (avec Kurt Gibble, PennState University EU), et l'étude des résonances de Feshbach. Les résultats obtenus récemment sont dans la lignée de plusieurs contributions importantes à l'amélioration de notre compréhension de la physique des horloges à atomes froids survenues dans la dernière décennie. L'utilisation de la fontaine mobile FOM lors de campagnes nationales et internationales a encore renforcé la visibilité de l'équipe dans le domaine. Le travail sur la manipulation des atomes dans les puces atomiques a certainement un intérêt qui dépasse l'application aux horloges et doit donc être poursuivi.

### Appréciation sur l'interaction avec l'environnement social, économique et culturel

L'échelle de temps UTC(OP) représente le « fer de lance » des activités dans le domaine du chronométrage. Il est donc légitime que les résultats sur les horloges à fontaines aient maintenant commencé à contribuer à la réalisation de UTC(OP). L'implication dans les projets sur les standards de fréquences compacts, cellules à gaz et puces atomiques (CSAC), est très importante pour la valorisation des connaissances acquises par l'équipe. Elle devrait probablement permettre d'appuyer des projets industriels en France avec le transfert industriel des horloges compactes à atomes froids.

### Appréciation sur l'organisation et la vie de l'équipe

Le comité a noté qu'en raison de l'engagement du responsable de l'équipe dans ACES, celui-ci est moins disponible pour ses activités d'encadrement et de responsable de groupe. Dans le cadre du processus de réorganisation de la direction du SYRTE, une solution devrait être trouvée qui permette d'assurer la direction et l'encadrement de cette équipe.



## Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

D'après les chiffres fournis dans les documents, le nombre de thèses dirigées par des membres du SYRTE (dont certaines sont co-financées par l'industrie) est de 14, ce qui est une indication que la contribution de l'équipe « Métrologie des Fréquences Micro-Onde » est importante. Cela représente une implication forte de l'équipe dans le travail de formation et une charge importante pour les directeurs de ces thèses.

## Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

Le comité voit un risque que cette équipe, et donc l'unité SYRTE, perdent leur compétence et leur rôle de premier plan si le soutien technique pour la maintenance et la gestion de l'obsolescence des fontaines, des oscillateurs locaux et des systèmes de distribution de fréquence, n'est pas maintenu à un niveau suffisamment élevé. Il faudrait donc établir un processus de mise en priorité des tâches, de préférence en accord avec les autres équipes, et géré par un « conseil scientifique » qu'il faudrait mettre en place au SYRTE. Le recrutement de personnel dans les pôles techniques pour cette maintenance pourrait s'avérer devoir être plus important que celui nécessaire à la continuation des projets eux-mêmes. L'utilisation récente des fontaines comme référence du temps UTC(OP) est en fait un vieux projet, étant donné que la fontaine FO1 est en fonctionnement depuis 1996, mais ce n'est que plus récemment que le fonctionnement fiable des fontaines avec un bon niveau de performance leur permet de participer à une échelle de temps opérationnelle. Le comité encourage les équipes « Micro-ondes » et « Métrologie du temps » à collaborer pour trouver une façon fiable et efficace d'utiliser les données des fontaines pour la réalisation des échelles de temps du SYRTE, notamment UTC(OP) et TA(F).

Le comité pense qu'il pourrait être difficile de gérer en même temps les trois projets d'horloges compactes : CPT, Horace/Rubiclock et l'horloge sur puce atomique. Dans la partie « Projet » du rapport il est mentionné que l'on continuera à travailler sur ces multiples projets mais aucune réflexion critique n'est proposée. Le comité encourage l'équipe à mener une réflexion pour évaluer de façon réaliste le potentiel (notamment commercial) des horloges atomiques compactes. Le passage du Cs (HORACE) au Rb (RUBICLOCK) a été motivé par la possibilité de disposer d'une source laser plus simple et fiable, mais même dans ce cas on peut poser la question de la compétitivité avec les horloges à maser à hydrogène passif, qui ont déjà démontré leur performance à bord des 4 premiers satellites Galileo et qui sont disponibles sur le marché au prix de 30 k€, avec de bonnes performances.

Le principe de fonctionnement et la performance de l'horloge PHARAO sont considérés par le comité comme le cœur de la mission ACES, et celle-ci peut être vue (en plus de son intérêt pour des tests de physique fondamentale) comme un démonstrateur crucial pour des missions spatiales futures avec horloges de haute performance. L'équipe est donc encouragée à consacrer toute son énergie et expertise au succès de PHARAO et ACES.

## Conclusion

L'équipe Métrologie des Fréquences Micro-Ondes est centrale pour les activités du Pôle Temps-Fréquence et ses importantes réalisations scientifiques jouent un grand rôle dans la visibilité du SYRTE. Une réorganisation de la direction de l'équipe, en parallèle avec celle de l'unité devrait accroître encore la productivité et la qualité du travail de cette équipe.

**Équipe 5 :** Métrologie du Temps

**Nom du responsable :** M. Joseph ACHKAR

### • Appréciations détaillées

Dans chaque pays développé un institut est en charge de la réalisation du Temps Universel Coordonné (UTC) comme base du temps légal dans le pays, noté UTC(k), et souvent d'une échelle de temps atomique "libre" notée TA(k). Cette activité comprend les opérations sur un ensemble d'horloges locales, la comparaison de ces horloges avec UTC(k), et la comparaison de UTC(k) avec les échelles de temps réalisées dans d'autres instituts, soit dans le pays soit sur une échelle internationale. TA(k) est "libre" dans le sens où il n'y a pas de règles pour le définir ni pourquoi on le fait. Le monde extérieur a accès aux horloges et aux standards de fréquences d'un institut donné comme le SYRTE, par l'intermédiaire des produits délivrés par l'équipe en charge dans cet institut. Il est donc évident que cette équipe a une fonction et une visibilité particulières, et qu'elle doit concentrer son travail sur le service, la disponibilité et le sérieux, au détriment d'activités de recherche proprement dite.

#### Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

L'équipe Métrologie du Temps de l'unité SYRTE réalise UTC(OP) comme base du temps légal en France et comme référence pour toutes les comparaisons avec les échelles de temps internationaux. Le comité félicite l'équipe pour le renforcement récent de la collaboration avec l'équipe "Micro-Onde" et pour avoir réussi le transfert de la performance exceptionnelle des fontaines du SYRTE sur le temps UTC(OP). L'équipe Métrologie du Temps devrait chercher à établir une interface sécurisée, fiable et redondante avec l'équipe "Micro-Onde" pour que la qualité de ce service soit assurée en continu.

Transférer le temps de manière exacte requiert la caractérisation des retards dus aux équipements utilisés dans le transfert. L'équipe a mis en place une unité de calibration mobile pour les liens GPS P3, et l'a utilisée avec succès pour des campagnes en France et à l'international. Cette activité est extrêmement utile.

Pour toutes ces raisons l'activité de l'équipe est jugée excellente.

#### Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

L'équipe occupe une position unique dans son domaine de recherche au niveau national et européen. Un exemple particulièrement significatif en est l'expérience de développement d'un dispositif pour la calibration des retards internes dans l'équipement TWSTFT, que nous décrivons brièvement ci-après.

Le but de cette expérience est d'utiliser ce dispositif de calibration de façon routinière, et de démontrer que ses propres retards internes et donc ses capacités de mesure sont capables de vérifier les changements dans le retard du signal de l'installation dans des opérations de routine. Le comité a pris note de l'étude récente sur l'utilisation de la phase de la porteuse pour le transfert de fréquence TW. Là encore, l'équipe est la seule en Europe à avoir développé des activités dans cette direction. L'équipe devrait consacrer plus d'efforts dans des études qui pourraient permettre de comprendre la cause de la performance insuffisante lorsque l'on moyenne sur des temps plus longs que 100 s. Il est clair que de telles études pourraient compromettre l'utilisation continue de l'installation TW, mais cela doit être considéré comme un inconvénient acceptable.

### Appréciation sur l'interaction avec l'environnement social, économique et culturel

L'échelle de temps TA(F) est actuellement construite comme une échelle de temps composite avec des contributions de plusieurs laboratoires français, y compris des instituts comme le CNES et l'OCA. Contribuer à TA(F) est le moyen au travers duquel les horloges commerciales utilisées par ces laboratoires et instituts participent au groupe d'environ 400 horloges qui forment l'ensemble d'horloges à la base de la définition de l'Echelle Atomique Libre du Bureau Internationale des Poids et mesures (BIPM), la première étape dans la réalisation de UTC. Même un ensemble de 20 horloges à césium commerciales est moins performant (en exactitude comme en instabilité combinée) qu'une seule fontaine, et l'équipe pourrait considérer un changement dans sa stratégie pour la réalisation de TA(F) dans le futur.

### Appréciation sur l'organisation et la vie de l'équipe

Le comité encourage l'équipe à collaborer activement avec le pôle électronique de façon à assurer la distribution des signaux dans tous les systèmes de transfert de temps, y compris le futur segment sol de ACES, de sorte que la qualité des signaux d'horloges du SYRTE puisse être pleinement utilisée.

### Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

De par ses activités axées sur le service, l'équipe a nécessairement une implication plus faible dans la formation par la recherche. Cependant, la mise en œuvre du simulateur GNSS (*Global Navigation Satellite System*) et le contrôle continu des retards dans l'équipement GNSS pourraient en principe faire l'objet d'une thèse. De plus l'implication de l'équipe dans le projet ACES pourrait être appuyée par de jeunes chercheurs talentueux et dynamiques.

### Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

L'équipe a clairement présenté son implication dans les activités futures de dissémination Temps+Fréquence et ses travaux sont en phase avec l'évolution attendue des performances d'horloges et les besoins futurs. Le comité encourage l'équipe à rechercher (à côté des tâches récurrentes liées à GNSS et TWSTFT) des points forts qui lui permettraient de se distinguer de celles d'autres instituts en Europe, par exemple en conservant son expertise dans T2L2 ou en étant plus impliquée dans le transfert de temps par fibres optiques.

### Conclusion

Les activités de cette équipe méritent un soutien financier et humain constant de façon à garantir la qualité et la disponibilité du service. C'est crucial pour tout le pôle Métrologie Temps-Fréquence. Le soutien correspondant des pôles électronique et informatique est absolument nécessaire pour assurer la qualité de la dissémination du signal dans les bâtiments ainsi qu'un accès sûr aux données de transfert de temps. L'installation du segment sol de ACES et son lien avec l'échelle de temps locale représentent un défi majeur pour l'équipe et les deux pôles technologiques, étant données les contraintes sur l'environnement local (bâtiments, problèmes de visibilité du satellite, permission d'installation d'équipements, etc.), et devrait être planifiée en temps voulu.

**Équipe 6 :** Métrologie des Fréquences Optiques

**Nom du responsable :** M. Sébastien BIZE

### • **Appréciations détaillées**

Le groupe « Métrologie des Fréquences Optiques » s'occupe de 3 activités :

- Le développement d'étalons de fréquence (horloges) optiques absolus utilisant des atomes neutres (Sr et Hg) piégés par laser ;
- Le développement de lasers "ultrastables" qui servent comme oscillateurs locaux pour les étalons absolus ;
- Le transfert de fréquences optiques vers le domaine micro-onde et entre étalons optiques via des fibres.

Parmi les faits marquants dans ce domaine on notera l'obtention d'une exactitude de  $1.4 \cdot 10^{-16}$  pour les horloges Sr et une comparaison entre deux horloges optiques indépendantes au même niveau de précision. La comparaison est la plus précise au monde actuellement pour des horloges à réseau optique. Le groupe a aussi démontré l'opération d'un laser avec une stabilité de  $4 \cdot 10^{-16}$  à une seconde, et un transfert de fréquence sur fibre entre l'optique et la micro-onde de  $10^{-16}$  à une seconde.

Parmi les projets les plus importants, le groupe développe actuellement une horloge à Hg, techniquement plus difficile qu'avec Sr, mais plus prometteuse en ce qui concerne l'exactitude ultime (meilleure que  $10^{-17}$ ). Il développe aussi des oscillateurs locaux et des méthodes de transfert de fréquence qui permettront des comparaisons à distance entre horloges situées dans différents laboratoires.

### **Appréciation sur la production et la qualité scientifiques**

Les multiples records de cette équipe dans leur domaine sont remarquables et viennent en partie du talent et de la ténacité de ses membres ainsi qu'au fait d'avoir très tôt identifié et investi dans cette voie vers les horloges à réseau optique. Le groupe a publié 48 articles dans des revues à comité de lecture.

### **Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques**

Les travaux pionniers de ce groupe sont connus mondialement comme en témoignent les ~ 40 conférences invitées des membres de groupe sur les 5 années. Le groupe est responsable d'une grande contribution dans l'Equipex REFIMEVE, qui propose de créer des liens par fibres optiques entre différents laboratoires français et européens.

### **Appréciation sur l'interaction avec l'environnement social, économique et culturel**

Intégré dans leur recherche sur la mesure et la distribution des fréquences optiques, le groupe a aussi développé des partenariats avec divers industriels notamment la société Menlo Systems GmbH pour l'exploitation des lasers à peigne de fréquence. Des brevets ont été pris sur différents systèmes de stabilisation de laser.

### **Appréciation sur l'organisation et la vie de l'équipe**

Cette équipe, qui a 7 membres permanents et qui attend un recrutement sur concours fléché en 2013, semble bien gérée avec des réunions hebdomadaires portant sur les travaux en cours ainsi qu'une revue de la presse scientifique dans les domaines qui touchent à leur activité. Les doctorants du groupe apprécient la grande disponibilité des chercheurs permanents et l'ouverture vers d'autres équipes du laboratoire.

### **Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche**

Il y a plusieurs doctorants dans le groupe. Leurs travaux sont au premier plan et leur insertion dans la vie professionnelle après la thèse est excellente. Le travail étroit entre les chercheurs permanents et les doctorants, et les réunions fréquentes conduisent à une ambiance idéale pour la formation de doctorants.

## Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

Les objectifs sont ambitieux. Les chercheurs espèrent pousser l'exactitude de leurs horloges vers le niveau  $10^{-17}$ . Cet objectif est réaliste, mais doit se réaliser dans un contexte international extrêmement compétitif. Une dizaine de laboratoires de métrologie, certains très bien financés (surtout aux USA et au Japon), ont les mêmes objectifs en vue, et on s'attend à ce que la définition de la seconde soit bientôt déterminée par des horloges optiques. Vu le coût du développement de telles horloges et la difficulté d'évaluer leur exactitude, la possibilité d'effectuer des comparaisons entre horloges situées dans différents laboratoires du monde est très importante. La continuation des avancés du SYRTE dans le domaine du transfert par fibres est de ce fait essentielle, de même que la participation des horloges optiques du SYRTE à PHARAO/ACES. Le groupe a aussi des projets ambitieux et intéressants pour réaliser de nouveaux types de stabilisation laser, basés par exemple sur le "spectral hole burning" des atomes de terre rare dans une matrice cristalline, ou des raies moléculaires. Si ces nouvelles techniques s'avèrent à la hauteur de leurs promesses - et il faut du travail expérimental pour l'établir - elles joueront un rôle essentiel dans des futures horloges.

## Conclusion

Tous les projets sont de longue haleine. Le développement des horloges micro-ondes à fontaine au SYRTE a démarré en 1990, et ce n'est que dans les dernières 5 années que ces instruments ont atteint leurs limites intrinsèques. Ainsi, il semble difficile de compter uniquement sur les financements du type ANR, CNES ou ESA pour assurer le développement de nouvelles horloges. Un effort des tutelles pour assurer un financement stable est très important.

En conclusion, concernant les critères AERES précédents, l'avis du comité est partout positif.

**Équipe 7 :** Interférométrie Atomiques et Capteurs Inertiels

**Nom du responsable :** M. Arnaud LANDRAGIN

### • Appréciations détaillées

Le groupe développe différents types d'interféromètres à atomes pour mesurer des forces "inertielles": rotation, accélération, gravité (accélération de la gravité) et gradients de la gravité. Les interféromètres ont plusieurs points en commun avec des horloges à franges de Ramsey. Ce fait conduit à un échange fructueux avec les équipes travaillant sur les horloges. Parmi les faits marquants ces dernières 5 années on peut mentionner :

- Le développement et la caractérisation d'un gravimètre absolu et une comparaison avec des gravimètres conventionnels à "coin cube". L'exactitude du gravimètre du SYRTE est au même niveau que les meilleurs exemples de l'autre technologie ;
- La caractérisation complète d'un gyromètre à atomes froids qui montre une performance similaire aux gyromètres à fibre ;
- Dans le domaine théorique, les travaux sur le déphasage des interféromètres atomiques (formalisme ABCD) et l'optique atomique en 5D.

Le groupe est également en train de développer de nouveaux concepts concernant notamment des interféromètres à atomes confinés, soit dans une onde stationnaire soit sur une puce à atomes. Le groupe est impliqué dans plusieurs collaborations nationales et internationales. Au niveau national, il participe au développement d'un interféromètre embarqué en avion (ICE), un projet de réseaux d'interféromètres sur un bras de 600 m (MIGA). Au niveau international, le groupe participe au projet spatial STE-QUEST de l'ESA, ainsi qu'au projet de balance du watt du LNE. Le groupe a aussi plusieurs collaborations industrielles dont une « start-up » ( $\mu$ Quans) co-fondée par l'un des membres de l'équipe.

#### Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

La production scientifique de l'équipe est de très bon niveau, avec des résultats fondamentaux sur la caractérisation de leurs instruments ainsi que plusieurs articles théoriques ou contenant des propositions pour des futures expériences. Du point de vue des publications, la collaboration avec l'Institut d'Optique (projets MINIATOM, ICE et BIARO) est particulièrement productive.

#### Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

Le rayonnement du groupe est excellent, particulièrement au travers de ses multiples collaborations nationales et internationales.

#### Appréciation sur l'interaction avec l'environnement social, économique et culturel

Comme mentionné ci-dessus, le groupe a beaucoup de collaborations avec des industriels. La liste des sociétés inclut ONERA, Thales, KLOE, IXSEA, SAGEM et  $\mu$ Quans. Un bon exemple de collaboration industrielle est le projet MINIATOM, qui développe des dispositifs miniaturisés pour une utilisation dans des futurs projets sur Terre et dans l'espace.

#### Appréciation sur l'organisation et la vie de l'équipe

Le groupe a beaucoup de contacts au sein du LNE-SYRTE ce qui conduit à une bonne atmosphère de collaboration. Une discussion avec certains doctorants du groupe révèle une grande disponibilité des chercheurs permanents et la possibilité de profiter des compétences des autres équipes du laboratoire.

### Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

L'implication dans la formation est similaire à celle de l'équipe « Fréquences Optiques ». Les travaux des doctorants sont excellents. L'insertion dans la vie professionnelle après la thèse se passe très bien. Le travail étroit entre les chercheurs permanents et les doctorants, et les réunions fréquentes conduisent à une ambiance idéale pour la formation de doctorants.

### Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

Le groupe a beaucoup de projets de très haut niveau en cours. Certains cherchent simplement à développer de nouvelles générations de senseurs basées sur des concepts déjà démontrés au SYRTE (les interféromètres à atomes libres), d'autres, plus exploratoires, développent de nouveaux concepts et technologies (Forca-g et Gyrachip). Le groupe est impliqué dans de gros projets collaboratifs où il apporte une compétence unique (balance du watt, MIGA, STE-QUEST, ...). Le comité applaudit l'ambition et le dynamisme de cette équipe.

### Conclusion

Les projets d'avenir mettront des charges de travail importantes sur les membres de l'équipe : le groupe doit veiller à ne pas trop disperser ses ressources. Il est important de souligner que mis à part les projets de gyro à atomes libres et de gravimètre absolu, les multiples projets du groupe ne sont pas financés directement par le LNE. Il faut donc assurer des financements venant d'ailleurs. Ces financements risquent d'être peu stables, une difficulté éventuelle pour des projets à long terme comme ici, dans ce groupe.



**Thème 3 :** Pôle Histoire

**Nom du responsable :** M<sup>lle</sup> Michela MALPANGOTTO

Effectifs du thème en Équivalents Temps Plein	Au 30/06/2012	Au 01/01/2014
ETP d'enseignants-chercheurs titulaires		1
ETP de chercheurs des EPST ou EPIC titulaires	3	1
ETP d'autres personnels titulaires n'ayant pas d'obligation de recherche (IR, IE, PRAG, etc.)		
ETP d'autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)	1	0
ETP de post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité		
ETP d'autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, etc.) hors post-doctorants	1	2
ETP d'autres personnels contractuels n'ayant pas d'obligation de recherche		
Visiteur de longue durée et affilié	8	8
ETP de doctorants		
<b>TOTAL</b>	13	12

Le Thème 3 est le Pôle Histoire qui comprend une seule équipe :

- Histoire de l'Astronomie.





**Équipe 8 :** Histoire de l'Astronomie

**Nom du responsable :** M<sup>lle</sup> Michela MALPANGOTTO

## • Appréciations détaillées

### Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

L'équipe d'histoire de l'astronomie du SYRTE est la seule équipe constituée existant aujourd'hui en France sur ce thème. C'est une petite équipe très active et très organisée dont la production scientifique frappe par sa qualité et sa richesse. L'équipe a su construire un réseau à la fois national et international qui explique, par l'importance des collaborations qu'elle a su susciter, sa propre fécondité. Elle propose, dans un paysage en voie de développement - l'histoire des sciences et plus généralement ce qu'on appelle aujourd'hui les *Sciences Studies* - une approche méthodologique rigoureuse, à la fois technique et conceptuelle, qui repose sur le double cursus de ses chercheurs (mathématiques ou physique d'une part, méthodes des sciences humaines et sociales d'autre part), approche qu'il importe de soutenir, alors que l'extension des domaines, des problématiques et des méthodes de recherche qui marque l'évolution de la discipline s'accompagne parfois au contraire d'une dissolution de son objet.

### Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

Le projet de l'équipe marque un renforcement des synergies avec les autres équipes du laboratoire. Cette synergie favorise à son tour un plus grand investissement du laboratoire et de ses tutelles dans cette équipe élevée au statut de « Pôle » dans le prochain quinquennal. Il est clair que cette équipe apporte au SYRTE une authentique plus-value symbolique avec, précisons-le, des moyens réduits en personnels et en dotation, dont il faudra envisager l'accroissement.

### Appréciation sur l'interaction avec l'environnement social, économique et culturel

L'équipe s'appuie sur une structure éditoriale solide et visible (deux collections éditoriales, collaborations régulières avec des revues à dimension internationale). La croissance souhaitable de l'équipe devrait lui permettre de développer une politique d'édition numérique favorisant la diffusion de son action scientifique. Elle pourra compter dans ce cadre sur le soutien de l'Observatoire et de la Bibliothèque virtuelle.

### Appréciation sur l'organisation et la vie de l'équipe

L'équipe se réunit très régulièrement et apparaît organisée de façon claire et rationnelle. Les relations sont de nature matricielle et ne posent aucun problème de gouvernance.

### Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

L'équipe est présente dans certains cursus universitaires (Paris Diderot). Il existe aujourd'hui une volonté de l'université Pierre et Marie Curie de favoriser ce type de formation. Il importe que l'équipe puisse développer de son côté son offre de formation, ce qui passe naturellement par une augmentation du nombre de ses chercheurs.

### Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

L'intégration dans un laboratoire de physique aussi prestigieux que le SYRTE est une opportunité que le projet met clairement en valeur. Le nouveau projet sur l'histoire de la mesure qui mobilise des chercheurs d'autres équipes est extrêmement prometteur et augure d'une avancée réelle dans l'histoire des sciences aussi bien dans ses objets que dans ses méthodes.

## Conclusion

Il s'agit d'une très bonne équipe qui occupe une place sans équivalent en France grâce en particulier à la qualité de la formation de ses chercheurs. Il est nécessaire de maintenir, dans les prochains recrutements (qu'ils se fassent par concours ou par mutation), le principe du double cursus qui apparaît comme un véritable critère d'excellence. C'est la garantie d'une inscription profonde et durable de l'équipe dans le paysage de la recherche.

L'équipe peut améliorer son excellence en insistant sur deux points : 1) le développement d'une politique d'édition numérique ; 2) le développement de l'offre de formation et d'enseignement qui reste aujourd'hui limitée ne serait-ce qu'en raison du petit nombre des chercheurs qui la composent. Il semble que l'équipe trouvera tout le soutien des tutelles du SYRTE à cette fin (l'UPMC pour l'enseignement et la formation ; l'Observatoire de Paris pour le numérique).

## Points forts

- Qualité et richesse de la production scientifique ;
- Mise en place d'un réseau national et international actif et cohérent ;
- Excellence de la formation des chercheurs (double cursus) ;
- Projet innovant et porteur.

## Points à améliorer

- Développement du recrutement et des moyens (locaux, dotations, etc.) ;
- Formalisation institutionnelle du réseau international ;
- Développement de l'édition numérique ;
- Développement de l'offre de formation.

## 5 • Déroulement de la visite

Dates de la visite :

Début : Lundi 21 Janvier 2013 à 8h30

Fin : Mardi 22 Janvier 2013 à 18h00

Lieu de la visite : Observatoire de Paris,  
61, avenue de l'Observatoire - 75014 PARIS

Déroulement ou programme de visite :

La visite s'est tenue sur deux jours. La matinée du 21 janvier a été consacrée aux exposés généraux du directeur M.Noël DIMARCO (présentation générale du bilan et du projet de l'unité, puis présentation du pôle « Métrologie Temps-Fréquence »), du directeur adjoint M.Jean SOUCHAY (présentation du pôle « Systèmes de référence célestes & Rotation de la Terre »), de MME Michela MALPANGOTTO (présentation du pôle « Histoire de l'Astronomie »), puis à nouveau de M. Noël DIMARCO (axes de recherches transverses, enseignement et formation, pôles technologiques et services communs, etc...). L'après-midi du 21 janvier et une partie de la matinée du 22 janvier ont été consacrés aux visites des équipes scientifiques pour lesquelles le comité a été découpé en 3 sous-groupes thématiques « Métrologie T/F », « Espace » et « Histoire ». En début de matinée du 22 janvier, une partie du comité a rencontré les responsables des pôles technologiques et des services communs. Puis, en fin de matinée du 22 janvier, le comité a rencontré successivement les représentants du personnel ITA, des chercheurs et des étudiants. Dans l'après-midi du 22 janvier le comité a rencontré les représentants des tutelles et les invités, puis a eu une réunion avec la direction de l'unité. Enfin le comité s'est réuni à huis-clos pour une discussion finale autour de la rédaction du rapport.

La visite du comité s'est effectuée dans d'excellentes conditions et le comité a pu obtenir toutes les informations qu'il jugeait nécessaires.

## 6 • Statistiques par domaine : ST au 10/06/2013

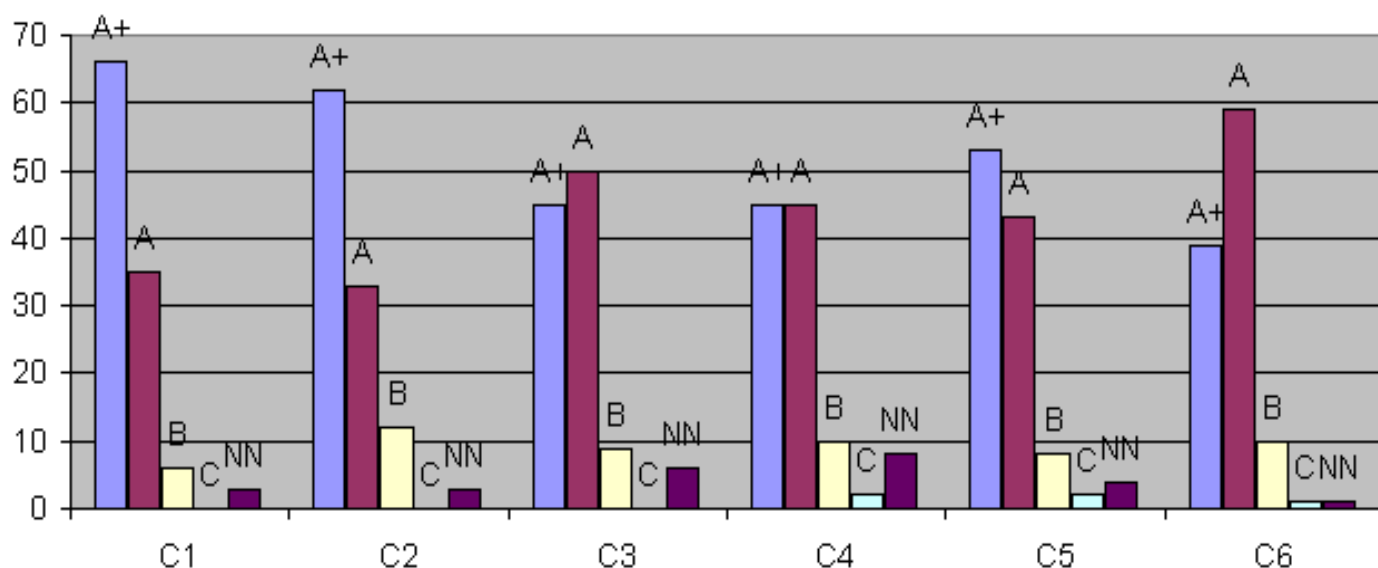
### Notes

Critères	C1 Qualité scientifique et production	C2 Rayonnement et attractivité académiques	C3 Relations avec l'environnement social, économique et culturel	C4 Organisation et vie de l'entité	C5 Implication dans la formation par la recherche	C6 Stratégie et projet à cinq ans
A+	66	62	45	45	53	39
A	35	33	50	45	43	59
B	6	12	9	10	8	10
C	0	0	0	2	2	1
Non Noté	3	3	6	8	4	1

### Pourcentages

Critères	C1 Qualité scientifique et production	C2 Rayonnement et attractivité académiques	C3 Relations avec l'environnement social, économique et culturel	C4 Organisation et vie de l'entité	C5 Implication dans la formation par la recherche	C6 Stratégie et projet à cinq ans
A+	60%	56%	41%	41%	48%	35%
A	32%	30%	45%	41%	39%	54%
B	5%	11%	8%	9%	7%	9%
C	0%	0%	0%	2%	2%	1%
Non Noté	3%	3%	5%	7%	4%	1%

Domaine ST - Répartition des notes par critère





## 7 • Observations générales des tutelles

Paris, le 13 mai 2013

la Présidence

PDT C.C/cb/2013-086

AERES  
Monsieur Pierre Glaudes  
Directeur de la Section des unités  
20 rue Vivienne  
75002 PARIS

**Réf. : S2PUR140005720 - SYSTEMES DE REFERENCE TEMPS-  
ESPACE - 0753496T**

Recherche

Formation

Culture scientifique

**Objet : Observations générales**

Monsieur le Directeur,

Vous trouverez ci-après les observations de portée générale sur le rapport d'évaluation du SYRTE.

Je vous prie de croire, Monsieur le Directeur, à l'expression de mes cordiales salutations.

Claude Catala



Président de l'Observatoire de Paris

## Rapport AERES du laboratoire SYRTE – Systèmes de Référence Temps-Espace – UMR 8630 Réponses aux commentaires et recommandations du comité

La direction du SYRTE, en son nom et au nom de tout le personnel de l'unité, tient tout d'abord à remercier tous les membres du comité AERES pour leur investissement considérable dans l'évaluation d'un laboratoire aussi pluridisciplinaire que le SYRTE. Les deux journées - quelque peu chargées - de présentations, visites et discussions ont permis des échanges fructueux et le personnel du laboratoire a apprécié de pouvoir s'exprimer librement à cette occasion.

La qualité du rapport et son contenu détaillé ont été très appréciés, ainsi que les commentaires très positifs, voire élogieux, qui récompensent l'investissement considérable des équipes dans leurs activités de recherche et de service. Le comité a constaté que « les équipes sont soudées et solidaires », ce qui a toujours été et reste un atout et une nécessité pour s'impliquer toujours plus, rester au meilleur niveau sur la scène internationale et répondre à la pression des projets dans un contexte de compétitivité croissante.

Les remarques, conclusions et recommandations seront quant à elles très utiles pour mettre en place ou amplifier des actions ou réflexions dans le but de poursuivre l'optimisation du positionnement, de la stratégie, de l'organisation et de l'efficacité de l'unité.

Une synthèse des réponses aux remarques, conclusions et recommandations émises par le comité dans le rapport est présentée ci-dessous, tout d'abord pour celles concernant l'ensemble de l'unité, puis pour chacun des pôles scientifiques.

### 1) Commentaires et recommandations concernant l'ensemble de l'unité

#### ■ Equipe de direction

→ *Le comité est soucieux de la faiblesse actuelle liée à l'équipe de direction sous-dimensionnée et recommande de rechercher au plus vite une personnalité scientifique extérieure pour succéder au directeur actuel après la fin de son second mandat. Il recommande aussi de réfléchir à la nomination éventuelle d'un « directeur technique » pour améliorer la communication entre les services techniques et les équipes-projets et l'organisation en amont des projets.*

Un comité de recherche de candidats a déjà été créé par les tutelles de l'unité et l'objectif est d'identifier des candidats à la direction de l'unité pour l'été 2013. Le SYRTE jouit d'une excellente réputation et sa pluridisciplinarité est une force et une richesse. Toutefois, cette pluridisciplinarité est vue par certains candidats potentiels comme une réelle difficulté pour la direction d'un laboratoire, au vu de la complexification de la structuration de la recherche, de l'augmentation du nombre et de la lourdeur des charges administratives.

La proposition de nommer un « directeur-technique » est très pertinente. Elle sera certainement explorée avec intérêt par la future équipe de direction.

## ■ Conseil scientifique

→ Le comité souligne que les personnels techniques de l'unité demandent que le conseil scientifique du SYRTE soit régulièrement convoqué pour discuter des orientations scientifiques du laboratoire, incluant l'arrêt ou le démarrage de nouvelles expériences.

Le conseil scientifique (CS) du SYRTE est une structure souple qui inclut tous les personnels de l'unité qui ont un avis pertinent à apporter sur sa politique scientifique, y compris évidemment les responsables de services techniques. Vu la pluridisciplinarité du SYRTE, les participants aux réunions de ce CS dépendent des thématiques abordées et de la nature des sujets traités. Ce CS est particulièrement important pour les projets transverses qui impliquent plusieurs équipes de l'unité. Même si ce CS n'a pas pu se réunir systématiquement pour des raisons de calendrier, des réunions spécifiques ont été organisées pour le démarrage de projets instrumentaux (FORCA-G, LASIC, ...). Citons aussi que des réunions spécifiques ont été organisées pour la prospective des pôles Espace ou Histoire de l'astronomie. Enfin, un exercice annuel de prospective au sein du pôle « Métrologie temps-tréquence & capteurs inertiels » est organisé à chaque automne à l'occasion de la préparation des « fiches-projets » pour le LNE.

## ■ Activités de recherche vs activités de service

→ Le comité propose de créer un label technique « Atelier SYRTE » pour améliorer la reconnaissance pour des réalisations techniques qui sont quelquefois reprises et utilisées à l'extérieur sans mention de leur origine.

C'est parce que les développements et réalisations technologiques du SYRTE jouissent déjà de ce label de qualité que d'autres entités souhaitent en profiter. Il faudra effectivement s'assurer plus systématiquement que ces entités n'oublient pas de citer leur origine en mettant en place des règles de citation dans des accords de collaboration, en particulier dans le cadre de grands projets. Enfin, la direction continue à soutenir les publications dans des revues techniques ou d'instrumentation qui deviennent ensuite naturellement des références incontournables pour les articles présentant des résultats scientifiques utilisant ces technologies.

→ Le comité rapporte la difficulté d'équilibrer les tâches de services entre les chercheurs-ingénieurs du LNE, les ITA, etc...

Assurer le meilleur équilibre entre les activités de R&D et celles de services (service scientifique ou service technique commun) n'est pas un exercice simple dans un laboratoire qui est soumis à une très forte pression à la fois sur les projets de recherche et sur les services opérationnels. Cet exercice, qui inclut aussi le personnel CNAP et des chercheurs CNRS, vise à répartir au mieux les tâches de service assurées par chacun, même si des disparités conjoncturelles peuvent exister, en particulier dues une forte charge nécessaire sur un projet pour son démarrage ou sa montée en puissance.

## ■ Personnel

→ Le comité rapporte le souhait des ITAs d'une meilleure représentation du SYRTE dans les commissions paritaires d'interclassement est souhaitée.

La direction du SYRTE tient à rappeler qu'elle a participé chaque année aux commissions d'interclassement régionales CNRS et aux CPE de l'Observatoire de Paris, sauf cas d'empêchement majeur. D'ailleurs, le nombre important de promotions des ITA de l'unité est souligné dans le rapport. Le souci de promouvoir au mieux les ITA/ITRF méritants s'est aussi illustré par une aide de la direction à la rédaction des dossiers de demande d'avancement et la mise en priorité de l'ouverture de concours internes.



→ Le comité remarque qu'un meilleur soutien aux étudiants et visiteurs étrangers non francophones pourrait être organisé via un service d'accueil centralisé (aide aux démarches administratives, etc...).

L'accueil des chercheurs étrangers est difficile, à cause du nombre croissant de dossiers à gérer et à la complexité croissante des démarches et procédures administratives. Le SYRTE est en train de réfléchir à une organisation en interne pour assister l'administratrice dans la gestion des nombreux dossiers. La mise en place d'un service centralisé au sein des établissements sans aucun doute sera une avancée importante.

→ Le comité rapporte la demande des étudiants de pouvoir faire le point sur l'avancement de leur thèse une fois par an avec un référent scientifique ; ils souhaiteraient recevoir plus d'informations sur les débouchés post-thèse.

La réflexion sur ce point est en cours avec le représentant des étudiants au conseil de laboratoire ; des solutions devraient être prochainement proposées.

## ■ Locaux

→ Le comité a relevé à plusieurs reprises le problème très important des locaux auquel le SYRTE est confronté : exigüité des locaux, forte sur-occupation de la plupart des bureaux, prise en compte des contraintes environnementales pour les activités métrologiques, infrastructures pour le segment sol ACES, etc...

Cette situation, très pénalisante pour les activités en cours et la capacité de développement de l'unité, est connue de longue date des tutelles dont l'Observatoire de Paris qui héberge le SYRTE sur son site parisien. La direction de l'unité, qui est consciente des contraintes liées à ce site, apprécie tous les efforts de l'exécutif actuel de l'Observatoire de Paris pour chercher à résoudre ce problème avec des solutions sur différentes échéances.

## 2) Commentaires et recommandations concernant le projet scientifique

→ Le comité juge que le projet du SYRTE paraît parfois un peu « conservatif », avec une prospective insuffisante dans certaines équipes.

Le laboratoire est impliqué dans un très grand nombre de projets avec un certain risque de sur-programmation. Ce risque est géré au mieux en fonction des contraintes de ressources, contraintes qui ne vont certainement pas diminuer dans les prochaines années. Il ne serait donc pas raisonnable que le laboratoire s'implique activement à court terme dans d'autres grands projets, vu les enjeux sur les projets en cours et les engagements associés que le SYRTE doit tenir. Le projet proposé par le SYRTE repose sur un exercice de prospective scientifique qui a permis de définir les axes que nous jugeons prioritaires. Afin d'être ambitieux tout en restant réaliste, ce projet prend en compte des conditions aux limites que ne maîtrisent ni le laboratoire ni les établissements tutelles ni les agences de moyens.

## 3) Commentaires et recommandations concernant le pôle « Espace »

→ Le comité a noté un certain isolement du pôle Espace, en particulier par rapport à la communauté scientifique.

Ce commentaire soulève deux niveaux de réponses.

Même si elles auraient pu être plus explicitement citées, les collaborations passées, présentes ou à venir du pôle Espace avec d'autres équipes existent indéniablement et s'illustrent, pour celles en cours, par des publications faites en collaboration avec des chercheurs français et étrangers :

- en interne au SYRTE : tests de physique fondamentale avec la télémétrie Laser-Lune, futures études collaboratives dans le cadre de thèmes transverses cités dans le document « Projet » de l'unité (métrologie et géophysique, GNSS, projet historique le rôle des incertitudes dans les mesures et observations, ...).
- au niveau national : projet DYNAMO (dans le cadre du GRGS), collaboration avec l'IMCCE depuis 2007 pour les réductions des observations de la Lune et le service de validation des observations LLR mis en place par POLAC, étude avec l'IMCCE et l'IGN/LAREG sur l'apport scientifique de l'exploitation de l'instrumentation laser (Méo) pour le LLR et le SLR (position de la station, effet de l'atmosphère), liens privilégiés avec l'équipe de la station Laser (Méo) de l'OCA qui existent depuis 1997 (cf l'observation par Méo en mars 2013 de Lunokhod 1 en utilisant le service de prédiction LLR quotidien conçu par POLAC), collaborations avec l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg (IPGS) et le département géophysique de l'ENS sur l'influence d'effets géophysiques sur les fluctuations de la rotation terrestre, etc...
- au niveau international : groupes de travail de l'UAI, collaborations dans le cadre des services scientifiques IERS, IVS, POLAC (comparaisons inter-équipes des algorithmes de réduction des observations LLR suites aux rencontres « Theory and Model for the New Generation of the Lunar Laser Ranging Data » organisées à l'International Space Science Institute de Berne), étude des AGN dans le domaine optique, préparation au catalogue initial de quasars pour GAIA en collaboration très étroite avec le Brésil (ON/MCT et OV/UFRJ), le Portugal (CICGE/FCUP et SIM/FCUL), l'Observatoire de Bordeaux (OASU/LAB/M2A) et l'Espagne (Nordic Optical Telescope), etc...

Il est vrai que certaines collaborations pourraient être initiées ou renforcées avec des équipes citées dans le rapport AERES. Toutefois, sur certaines thématiques, il existe une compétition entre le SYRTE et certaines de ces équipes, ce qui n'est pas aisément compatible avec la mise en place de collaborations sereines. Ainsi, ces équipes en question ont démarré de leur côté des projets de recherche sur des sujets au cœur des thématiques du SYRTE sans pour autant associer les équipes concernées de l'unité. Une saine compétition est certainement un catalyseur de l'avancée scientifique, mais il faut bien évidemment s'assurer du meilleur équilibre entre collaboration et compétition. Dans sa prospective scientifique, SYRTE est assurément soucieux de favoriser au mieux les collaborations et synergies dans l'intérêt de l'unité, des laboratoires français et de l'ensemble de la communauté scientifique.

→ *Le comité a noté des changements intervenus dans les activités LLR durant ces dernières années. Il les qualifie de « sujet d'inquiétude » du fait, d'une part, des départs à la retraite des principaux intervenants dans ce domaine et, d'autre part, de la modification du paysage national et international autour des données LLR avec l'émergence depuis 2008 des éphémérides planétaires et lunaire INPOP, de la jouvence de la station d'observation Méo et de la mise en service de la station APOLLO.*

Les nombreux départs à la retraite sont clairement une source d'inquiétude pour la pérennité des activités de recherche et de service sur ce domaine. C'est pour cette raison que le recrutement d'un personnel CNAP pour les activités LLR a été affiché en priorité par le SYRTE, l'Observatoire de Paris et l'INSU pour le concours 2013. Par contre, nous ne considérons pas comme sources d'inquiétude l'émergence d'INPOP - pour laquelle POLAC a, rappelons-le, joué un rôle d'expert auprès de l'IMCCE dans la réduction des observations Laser-Lune - ou la jouvence de la station d'observation Méo (entre 2005 et 2009), ou encore la mise en service de la station APOLLO dont nous disposons des observations depuis 2008. Au contraire, notre collaboration passée et présente à INPOP, la reprise des tirs LLR de Méo depuis 2009 et la possibilité d'avoir accès aux observations LLR du Apache Point Observatory suite à notre demande auprès de Tom Murphy, responsable du projet APOLLO, sont plutôt des facteurs positifs pour l'avenir.

→ Le comité note que la mise en place de la base de données (LQAC) multi-longueurs d'ondes des caractéristiques physiques (astrométrie, photométrie, morphologie) des quasars a demandé un grand investissement de l'équipe mais ne semble pas déboucher vers une exploitation scientifique prometteuse pour cette dernière.

Le laboratoire est sensible à cette remarque mais n'y adhère que partiellement. Certes une plus grande collaboration avec des collègues en astrophysique peut être envisagée. Néanmoins le LQAC offre justement à la communauté astronomique et astrophysique dans son ensemble un catalogue de quasars le plus complet possible exploitable à différentes fins scientifiques. Il se situe dans la lignée des nombreux catalogues Véron-Cetty & Véron (1970-2010) qui ont déjà largement servi la communauté astronomique. Ce catalogue offre entre autres une optimisation de précision des positionnements de quasars, la suppression de doublons entre catalogues et un calcul des magnitudes absolues en tenant compte de l'absorption galactique. Les thèmes de recherche utilisant ce catalogue sont variés : lien radio-optique, (pour l'ICRF), étude des quasars doubles « réels », étude statistique de répartition spatiale, comparaison astro-photométrique entre deux catalogues en recouvrement, isotropisme, etc... Ils sont étudiés au SYRTE en collaboration avec la communauté astrophysique (IAP, Univ. Porto, Univ. Rio de Janeiro).

→ Le comité se demande pourquoi les études des rotations de planètes et d'astéroïdes ne sont pas présentées dans le cadre de l'équipe « rotation de la terre » plutôt que dans l'équipe « systèmes de référence ».

Ce choix se justifie par le fait que les positionnements orbitaux (SUBARU) et des axes de rotation des astéroïdes et des planètes (modélisation théorique) sont du ressort des systèmes de référence plutôt que de la « rotation de la Terre »

#### **4) Commentaires et recommandations concernant l'équipe transverse « Théorie et métrologie » (transverse aux pôles « Espace » et « Métrologie temps-fréquence & capteurs inertiels »)**

→ Le comité se demande pourquoi l'expérience mini-DOLL est poursuivie par l'équipe « théorie et métrologie » plutôt que par l'équipe « métrologie du temps ».

L'origine de ce rattachement est historique - le projet mini-DOLL est né à la suite de SAGAS - mais ne nuit aucunement à l'avancement du projet ni aux interactions avec les autres équipes. Au contraire, ce projet est mené en étroite collaboration avec l'équipe « Métrologie des fréquences optiques » qui mène d'autres projets de transfert de temps-fréquence avec des liens optiques cohérents. Les collaborations avec l'équipe « Métrologie du temps » interviennent naturellement pour l'utilisation d'instrumentation commune (modems par exemple) ou dans le cadre de comparaisons croisées entre les méthodes micro-ondes et optiques pour le transfert de temps-fréquence.

→ Le comité souligne que l'expérience FORCA-G devrait être présentée comme une « recherche de 5<sup>ème</sup> force » et non comme un test de la force à gravitation à courte distance.

Le laboratoire est d'accord avec cette remarque qui, bien que correcte sur le fond, ne soulève a priori aucun problème quant aux objectifs ou à la méthodologie du projet.

→ Le comité note que l'équipe semble avoir stoppé ses activités et réflexions sur des projets spatiaux ambitieux comme SAGAS et que tester la loi de la gravitation à grande distance du soleil devrait rester une motivation importante pour l'équipe.

Cette remarque est correcte sur le fond, mais SAGAS est un projet très ambitieux et à très long terme. Vu le nombre d'ETP limité et le grand nombre de projets en cours ou pour un futur plus proche (ACES, STE-QUEST, FORCA-G, ...), le choix a été fait de cibler les activités de l'équipe sur ces projets « plus urgents ».

## **5) Commentaires et recommandations concernant le pôle « Métrologie Temps-Fréquences et capteurs inertiels »**

→ Le comité pense qu'il pourrait être difficile de gérer en même temps les trois projets d'horloges compactes (CPT, Horace/Rubiclock et horloge sur puce atomique). Le comité encourage l'équipe à mener une réflexion pour évaluer de façon réaliste le potentiel (notamment commercial) des horloges atomiques compactes. Le passage du Cs (HORACE) au Rb (Rubiclock) a été motivé par la possibilité de disposer d'une source laser plus simple et fiable, mais même dans ce cas on peut poser la question de la compétitivité avec les d'autres horloges comme les masers à hydrogène passif.

Le laboratoire adhère à ce commentaire tout en rappelant deux points importants dans le cadre de ce type de projets dont une des finalités est le transfert vers le monde industriel :

- L'évaluation du potentiel commercial, qui est plus du ressort de l'industriel que du laboratoire, a été faite par les sociétés partenaires du SYRTE sur ces projets ; en particulier le positionnement de l'industrie française en complément de l'industrie suisse (masers passifs) est une opportunité dans le cadre de grands projets comme GALILEO qui ont un besoin évident de diversifier les technologies et les sources d'approvisionnement des horloges atomiques pour les segments sol et spatial.
- Les trois projets cités sont dans des phases très différentes puisque le projet Rubiclock est en phase de transfert industriel vers la société  $\mu$ QuanS, l'horloge CPT devrait bientôt entrer dans une phase de maturation avant d'envisager un transfert et les technologies plus prospectives sur puces atomiques - pour horloges atomiques ou capteurs inertiels - sont explorées au SYRTE pour des applications et des transferts à plus long terme.
- Les masers commerciaux utilisés pour Galileo ont effectivement une bonne stabilité à court et moyen terme ; ils présentent par contre une inexactitude et des dérives de fréquence qui ne posent pas de problème pour GALILEO mais qui peuvent devenir un point bloquant pour des applications nécessitant des références de temps autonomes. L'horloge Rubiclock répond à ce type de besoin.

→ Le comité encourage les équipes Micro-ondes et Métrologie du temps à collaborer pour trouver une façon fiable et efficace d'utiliser les données des fontaines pour la réalisation des échelles de temps du SYRTE, notamment UTC(OP) et TA(F). L'équipe Métrologie du Temps devrait chercher à établir une interface sécurisée, fiable et redondante avec l'équipe Micro-onde de façon que la qualité de ce service soit assurée en continu

La direction du SYRTE, qui adhère totalement avec cette recommandation, a fait évoluer ces dernières années l'organisation du service des Références Nationales de Temps pour optimiser les interactions entre les activités « Temps » et « Fréquences » menées dans différentes équipes de l'unité. Cette réorganisation s'est traduit concrètement par une meilleure automatisation et rationalisation des systèmes et une amélioration importante de la qualité des échelles de temps dont UTC(OP). Le besoin croissant de performances, de fiabilité et de sécurisation souligné par le comité est déjà identifié et pris en compte dans la prospective du SYRTE avec des engagements forts du laboratoire, que ce soit dans ses missions de laboratoire national de métrologie ou dans des très grands projets (ACES, GALILEO, REFIMEVE, ...).

## 6) Commentaires et recommandations concernant le pôle « Histoire des sciences »

→ Les points à améliorer soulevés par le comité relèvent d'actions à mener par l'unité et/ou les tutelles sont listés ci-dessous :

- Développement du recrutement et des moyens (locaux, dotations, etc.) ;
- Formalisation institutionnelle du réseau international ;
- Développement de l'édition numérique ;
- Développement de l'offre de formation.

En ce qui concerne les recrutements, le SYRTE a soutenu la candidature d'un chercheur au concours CR CNRS (section 35) en 2013. Le candidat est classé dans la liste des admissibles. La stratégie de recrutement est aussi de proposer à l'avenir des candidats dans des Commissions Interdisciplinaires (CID). D'autres demandes de postes sont déjà affichées dans les priorités de recrutement de l'unité, comme par exemple celles de poste de Maître de Conférence demandé à l'UPMC en 2013. En complément du recrutement de chercheurs permanents, l'équipe compte également à court terme sur la venue du professeur E. Nicolaïdis sur une Chaire Blaise Pascal (acceptée en 2013), ainsi que sur ses collaborations - existantes ou en cours de construction - avec des chercheurs à l'étranger.

Le manque de locaux adéquats affectés à l'équipe représente un problème réel, en terme de qualité d'environnement de travail ou de capacité d'accueil de nouveaux chercheurs, que ce soit dans le cadre de collaborations temporaires, de post-doc ou de membres permanents. Des solutions devraient être mises en place par l'Observatoire de Paris dans un futur proche, comme cela a été mentionné dans le paragraphe 1 de ce document.

En ce qui concerne l'aspect « Formalisation institutionnelle du réseau international », l'équipe se propose de structurer les différentes collaborations actuellement en place en créant un GDRI reposant sur un réseau international déjà existant, mais de manière informelle.

L'équipe apprécie la suggestion du comité de visite AERES sur le développement d'une politique d'édition numérique qui lui permettra d'exploiter davantage son expérience dans le domaine de l'édition critique d'œuvres scientifiques. Le point de départ reposera sur l'expérience déjà acquise dans le cadre du *Projet Maurolico* (projet international, piloté par l'Université de Pise, d'édition de l'œuvre mathématique de Francesco Maurolico sous forme électronique, auquel certains des membres de l'équipe participent depuis 2002) et de la collaboration avec le projet international *DRaFT* (projet international, piloté par l'Université d'Osaka, mettant au point un logiciel conçu pour l'édition critique des images des œuvres mathématiques et astronomiques). D'autre part, pour l'ouverture vers les *humanités numériques*, l'équipe va valoriser, d'une part, l'expérience de l'Observatoire de Paris et de son Observatoire Virtuel, et d'autre part, sa collaboration avec le CAPHES qui est moteur d'un tel projet dans le cadre du CIRPHLES – PSL.

En ce qui concerne l'offre de formation, il faut souligner que l'équipe est porteuse, depuis un an, pour l'organisation d'un Master européen « European scientific and technological heritage » en partenariat avec l'Université de Nantes, la National Hellenic Research Foundation et l'Université d'Athènes, l'Université de Liège et l'Université de Bari. Ce projet sera soumis en 2013 à l'appel d'offre Erasmus Mundus. L'activité d'enseignement dans le cadre du Master LOPHISC de l'Université Paris 7 se poursuivra et l'équipe souhaite développer son implication dans l'enseignement en histoire des sciences au sein de PSL et de Sorbonne Universités. Entre autres, l'UPMC et Sorbonne Universités ont pré-sélectionné un projet du SYRTE qui a été soumis en 2013 en réponse à l'appel à manifestation d'intérêt « AMI-Formation ».

Paris, le 3 mai 2013

Noël Dimarcq  
Directeur du SYRTE

