



**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. 2009, L'Observatoire de Paris, Université Pierre et Marie Curie - UPMC. hceres-02031195

**HAL Id: hceres-02031195**

**<https://hal-hceres.archives-ouvertes.fr/hceres-02031195>**

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

## Rapport d'évaluation

Unité de recherche :

SYstèmes de Référence Temps-Espace

(SYRTE) – UMR 8630

de l'Observatoire de Paris



avril 2009



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

Section des Unités de recherche

## Rapport d'évaluation

Unité de recherche :

SYstèmes de Référence Temps-Espace

(SYRTE) – UMR 8630

de l'Observatoire de Paris



Le Président  
de l'AERES

Jean-François Dhainaut

Section des unités  
de recherche

Le Directeur

Pierre Glorieux

avril 2009



# Rapport d'évaluation )

## L'Unité de recherche :

Nom de l'unité : SYstèmes de Référence Temps-Espace (SYRTE)

Label demandé : UMR

N° si renouvellement : 8630

Nom du directeur : M. Noël DIMARCQ

## Université ou école principale :

Observatoire de Paris

## Autres établissements et organismes de rattachement :

CNRS

Université Pierre et Marie Curie (Paris 6)

## Date(s) de la visite :

du 2 au 4 février 2009



# Membres du comité d'évaluation

## Président :

M. Jacques VIGUE, Université de Toulouse

## Experts:

M. Ennio ARIMONDO, Université de Pise, Italie

M. François BIRABEN, Université Paris 6

M. Jan VONDRAK, Astronomical Institute, Academy of Sciences of the Czech Republic, Prague

Mme Catherine MAN, Observatoire de la Côte d'Azur, Nice

M. Marco PANZA, Université Paris 7

M. Pascal PUGET, Université de Grenoble

M. Luc BLANCHET, Institut d'Astrophysique de Paris

## Expert(s) représentant des comités d'évaluation des personnels (CNU, CoNRS, CSS INSERM, représentant INRA, INRIA, IRD...) :

M. Pascal BONNEFOND, CNAP

M. François VERNOTTE, CNU

M. Philippe LOUARN, CoNRS

# Observateurs

## Délégué scientifique de l'AERES :

Mme Rosine LALLEMENT

## Représentant de l'université ou école, établissement principal :

M. Daniel EGRET, Président de l'Observatoire de Paris

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

M. Jean-Marie HAMEURY, directeur adjoint CNRS/INSU (partiellement)

M. Alain CASTETS, représentant CNRS/INSU

M. Paul INDELICATO, représentant UPMC (partiellement)



# Rapport d'évaluation

## 1 • Présentation succincte de l'unité

- Effectif : 106, dont enseignants-chercheurs et chercheurs (33 + 1 émérite), ingénieurs (9 + 4 sur CDD), doctorants (20), 7 post-docs ainsi que 14 chercheurs associés, techniciens et administratifs (15 + 3 sur CDD)
- Nombre de HDR : 16 (6 EC + 7 CNRS + 1 DR émérite CNRS + 2 LNE), nombre de HDR encadrant des thèses 9 (4 EC + 5 CNRS)
- Nombre de thèses soutenues (24) et durée moyenne lors des 4 dernières années (3,5 ans), nombre de thèses en cours (20), taux d'abandon (1 doctorante soit environ 5 %), nombre de thésards financés (la totalité soit 100 %)
- Nombre de membres bénéficiant d'une PEDR : 1
- Nombre de publiants : 31 parmi les EC+C permanents et 5 parmi les ingénieurs

## 2 • Déroulement de l'évaluation

Ce comité s'est tenu en 48 heures, en commençant par un dîner de travail le 2 février 2009 à 20 h et en se terminant le 4 février vers 17h. Le comité a examiné les activités du laboratoire SYRTE qui dépend de l'Observatoire de Paris, de l'Université Paris 6 et du CNRS/INSU.

La matinée du 3 Février a été consacrée à une série d'exposés présentés par le directeur (un exposé de présentation générale : grands axes de recherche du SYRTE, structuration, contexte, faits marquants, grandes orientations, bilan financier, etc.; un exposé sur les services communs et un exposé d'informations variées : enseignement, hygiène et sécurité, formation permanente, valorisation, communication), par les directeurs adjoints (un exposé sur Métrologie temps-fréquence, interférométrie atomique et capteurs inertiels et un exposé sur Systèmes de référence célestes et rotation de la Terre) et par la responsable de l'équipe de recherche sur l'Histoire de l'astronomie sur l'activité de celle-ci. L'après-midi du 3 Février a été consacrée à la visite des équipes scientifiques et, pour ces visites, le comité a été découpé en 3 sous-groupes thématiques « Métrologie T/F », « Espace » et « Histoire ». Les deux sous-groupes « Métrologie T/F » et « Espace » ont visité ensemble l'équipe « Théorie et Métrologie » en début de matinée du 4 février, pendant qu'un membre du comité rencontrait les services techniques.

Durant la fin de la matinée du 4 Février, le comité a rencontré successivement les représentants du conseil de laboratoire, les représentants du personnel ITA, les doctorants et post-docs, puis les représentants des tutelles. Le 4 février après-midi, après une brève séance avec les invités et les représentants des tutelles, le comité s'est réuni à huis clos pour une discussion finale autour du rapport.

Les membres du comité d'experts ont apprécié la qualité de l'organisation matérielle de cette réunion et ils ont pu obtenir l'ensemble des informations nécessaires à l'écriture du rapport. Cependant, la plupart des visites d'équipe ont été jugées trop courtes pour permettre une discussion approfondie avec les membres des équipes. Pour éviter cela, il aurait fallu découper le comité en un plus grand nombre de sous-groupes, ce qui, en sens contraire, aurait rendu moins globale la vision du laboratoire.



### 3 • Analyse globale de l'unité, de son évolution et de son positionnement local, régional et européen

Au 1/10/2008, le laboratoire SYRTE comptait 34 chercheurs ou enseignants-chercheurs : 15 chercheurs CNRS (1 de la section 1, 1 de la section 2, 4 de la section 4, 4 de la section 8, 1 de la section 17 et 4 de la section 35), 11 enseignants-chercheurs (1 de la section 34 du CNU, 1 de la section 26 du CNU et 9 du CNAP), 6 chercheurs du Laboratoire National de métrologie et d'essais LNE, 2 personnels d'autres organismes (1 chercheur émérite CNRS et 1 ingénieur-chercheur du Ministère de l'Industrie). A cette date, le laboratoire SYRTE comptait 24 ITA/ITARF sur postes permanents dont 13 dépendant du CNRS et 11 du MEN, 7 personnel ITA en CDD, 20 doctorants et 7 post-docs ainsi que 14 chercheurs associés. L'effectif total était de 106 personnes.

La pyramide des âges des chercheurs et enseignants chercheurs a une forme classique avec deux bosses séparées par un creux dans la tranche 50-54 ans et l'âge moyen est voisin de 47 ans, en ne prenant pas en compte dans cette moyenne le personnel émérite ou associé âgé de plus de 65 ans. Les 10 départs à la retraite des 4 dernières années ont été compensés par 5 recrutements et 6 mutations. Le personnel ITA/ITARF, qui a été largement renouvelé durant les 4 dernières années avec 13 arrivées et 12 départs, est jeune, avec deux personnes seulement ayant plus de 50 ans et un âge moyen voisin de 39 ans.

Le nombre de doctorants, voisin de 20, est tout à fait satisfaisant et les doctorants proviennent d'écoles doctorales variées au nombre de 7, ce qui s'explique partiellement par la variété des thèmes de recherche du laboratoire.

Le budget annuel moyen non consolidé du laboratoire sur la période 2005-2008 est le suivant, exprimé en crédits HT : 130 k€ de crédits récurrents, 100 k€ de crédits spécifiques (Actions spécifiques CNRS et Observatoire), 2000 k€ de contrats soit un budget global annuel moyen de 2200 k€ dont 6 % de crédits récurrents et 94 % de crédits spécifiques. Le comité a noté un nombre élevé de contrats de recherche (le rapport donne une liste des contrats associés à 36 projets). Un projet est financé par plusieurs contrats dont la liste ne donne pas le détail et les projets les plus longs ont une durée de 15 ans. Par projet, le montant moyen de la part laboratoire d'un projet est élevé, voisin de 470 k€, si l'on omet les petits contrats de services. Seuls 2 contrats proviennent de l'ANR et les sources de crédits contractuels sont le CNES, la DGA, l'ESA, l'IFRAF, le LNE, l'industrie et l'Union Européenne.

Les équipes du laboratoire SYRTE travaillent sur trois grands thèmes :

- la métrologie temps-fréquence, l'interférométrie atomique et ses applications aux capteurs inertiels,
- les systèmes de référence célestes et la rotation de la Terre,
- l'histoire de l'astronomie.

Les activités suivantes se rattachent au premier de ces grands thèmes :

- la Métrologie des Fréquences Micro-Ondes, avec les horloges à fontaine atomique, le projet PHARAO/ACES d'horloges spatiales ; les oscillateurs ultra-stables ; les horloges atomiques compactes pour systèmes embarqués ;
- la Métrologie des Fréquences Optiques, avec le développement d'horloges à réseaux optiques d'atomes de strontium ou de mercure et la comparaison/dissémination de fréquences optiques ;
- la Métrologie du Temps, avec les Echelles de Temps ; la comparaison et transfert temps-fréquence ; les projets européens de radionavigation par satellites et le service opérationnel des Références Nationales de Temps.
- l'Interférométrie Atomique et les Capteurs Inertiels avec le développement d'un gravimètre à atomes froids et d'un gyromètre-acceleromètre à atomes froids, la participation aux projets ICE et BIARO ainsi que la théorie de nouveaux capteurs.



Les activités suivantes se rattachent au deuxième grand thème :

- la Rotation de la Terre et la Géodésie Spatiale, avec la Théorie de la rotation de la Terre, la Géodynamique globale ; la Détermination Astro-géodésique de la rotation Terrestre et des services scientifiques ;
- Les Systèmes de Référence Célestes : Construction et densification ; lien entre le Système Céleste et le Système dynamique ; l'Astrométrie avec les grands télescopes ; la Modélisation des mouvements de rotation des corps célestes et des services scientifiques.
- Théorie et Métrologie, avec des tests des Théories Fondamentales ; Systèmes de positionnement relativistes et Modélisation relativiste des rayons lumineux dans les champs gravitationnels.

Enfin l'activité d'Histoire de l'Astronomie est centrée sur trois périodes XV-XVIème siècles, XVII-XVIIIème siècles et XIX-XXème siècles.

Comme on le voit, les sujets étudiés sont très nombreux et ils seront décrits plus en détail dans les rapports consacrés à chacune des grandes thématiques. Une particularité du laboratoire SYRTE est l'existence d'activités de services très spécifiques telles que le service opérationnel « Références Nationales de Temps », les centres de produits liés à la rotation de la Terre ou aux références célestes, etc.

Sur la période 2004-1<sup>er</sup> semestre 2008 soit 4 ans et demi, le SYRTE a publié 195 articles dans des revues internationales à comité de lecture, 35 articles dans des revues sans comité de lecture, 78 conférences invitées dans des congrès, 261 présentations avec actes dans des congrès, 136 communications orales et 56 affiches dans des congrès sans actes, 52 ouvrages ou chapitres d'ouvrages scientifiques et 17 éditions ou directions d'ouvrages. Le comité juge que ce bilan global est satisfaisant.

L'implication des membres du SYRTE dans l'enseignement, en particulier dans les universités parisiennes, est beaucoup plus forte que la composition du laboratoire avec un seul MCF de l'Université Paris 6 ne pourrait le faire penser. Le personnel dépendant du CNAP a également un rôle d'enseignant, mais avec un service moins lourd que les enseignants des universités. Beaucoup de chercheurs dépendant du CNRS ou du LNE enseignent également. De nombreux membres du SYRTE participent activement à la diffusion des connaissances par l'organisation de colloques scientifiques et surtout par de très nombreuses actions vers le grand public.

## 4 • Analyse équipe par équipe et par projet

### Thématiques Temps-Fréquence : la métrologie temps-fréquence, l'interférométrie atomique et ses applications aux capteurs inertiels

#### Métrologie du Temps

L'équipe Métrologie du Temps a une lourde responsabilité de service puisque sa mission première est de maintenir les échelles de temps. Elle a également la charge d'assurer leur dissémination par plusieurs méthodes de comparaison : TWSTFT (Two Way Satellite Time and Frequency Transfer) et GPS (Global Positioning System). Les projets de R&D développés par cette équipe sont tous destinés à renforcer ces missions de service. Ces activités sont contractualisées par le LNE (LNE-SYRTE).

Deux échelles de temps sont établies par le LNE-SYRTE : UTC(OP), réalisation physique de UTC de l'Observatoire de Paris maintenue à +/- 50 ns d'UTC (UTC, compromis entre l'anglais CUT *Coordinated universal time* et le français TUC) sur laquelle est basée le temps légal français et le temps atomique français TA(F), échelle de temps obtenue grâce à un parc d'horloges atomiques fonctionnant dans divers laboratoires français et dont l'exactitude de fréquence est pilotée par les fontaines atomiques du SYRTE. Cette exactitude est aujourd'hui meilleure que  $3 \times 10^{-15}$ , c'est à dire qu'elle se situe à un niveau au moins égal à celui du TAI. À un niveau bien moindre, le service assure également le fonctionnement continu de l'horloge parlante qui permet de diffuser l'heure légale sur tout le territoire français avec une exactitude de 50 ms. Deux projets sont en cours pour améliorer, d'une part UTC(OP), en pilotant un maser par un ensemble d'horloges à césium, et d'autre part la stabilité et l'exactitude de la référence locale de fréquence, grâce à un ensemble de masers piloté par les fontaines. Il faut noter que la responsabilité du maintien de ces échelles de temps repose entièrement sur les épaules d'un ingénieur d'étude.



Les comparaisons entre horloges atomiques distantes sont généralement réalisées grâce à des récepteurs GPS, souvent en monofréquence (porteuse L1) et en vue commune d'un même satellite (code C/A). Afin d'améliorer les performances obtenues avec le code C/A, le LNE-SYRTE a développé une méthode de mesure bifréquence basée sur le code P3. Le service métrologie du temps participe aussi à l'étalonnage des récepteurs GPS de nouvelle génération. Cette mission est indispensable pour tous les contributeurs français au TA(F) ainsi que pour tous les laboratoires européens contribuant au TAI.

En quelques années, le LNE-SYRTE a développé une station de comparaison par transfert deux voies de temps et de fréquence par satellite (TWSTFT) afin, d'une part, d'améliorer la contribution des horloges françaises au TAI et, d'autre part, d'offrir une méthode de comparaison des étalons de fréquence européens et américains à la hauteur des performances des fontaines atomiques. Pari atteint aujourd'hui puisque l'incertitude sur la différence UTC-UTC(OP) a été ramenée à 1,5 ns et que la stabilité de fréquence du lien est de l'ordre de  $10^{-15}$  @ 1 jour. Une seconde station est en cours de réalisation pour effectuer des comparaisons avec l'Asie. Il faut souligner la qualité des résultats obtenus qui a permis au LNE-SYRTE de se hisser en 5 ans au niveau des pionniers du TWSTFT (TUG, PTB, USNO, etc.).

Enfin, l'équipe « métrologie du temps » est largement impliquée dans EGNOS et dans Galileo. EGNOS est un projet de l'ESA proposant aux utilisateurs mobiles, comme l'aviation civile, un complément à GPS. Une station du segment sol est installée à l'observatoire de Paris sous la direction du CNES. Par ailleurs, le LNE-SYRTE est membre du consortium « Fidelity » chargé de la réalisation du prototype du « Galileo Time Service Provider » (GTSP). Le laboratoire est impliqué dans la conception du GTSP, dans la mise à disposition des intercomparaisons de ses horloges, dans la participation aux campagnes d'étalonnage de récepteurs, et dans la réflexion sur l'utilisation de Galileo pour la métrologie du temps.

En conclusion, le succès des développements récents de cette équipe, cumulé aux nouvelles pistes technologiques validées par d'autres équipes du SYRTE, engendre paradoxalement sa faiblesse puisque ces nouveaux développements deviennent inmanquablement de nouveaux services que devra assurer l'équipe « métrologie du temps », tout en continuant les services déjà existants. Compte-tenu de son rôle crucial dans le dispositif métrologique français et européen, les besoins criants en personnel de cette équipe (au moins un IR pour les échelles de temps et un AI pour le plan qualité et les nouveaux développements) sont préoccupants et devront être résolus rapidement.

#### **Equipe micro-ondes : fontaines atomiques, horloges compactes et oscillateurs**

En ce qui concerne ses recherches sur les horloges à fontaine atomique et les horloges compactes, le SYRTE décline sa mission suivant de multiples activités : service, moteur pour évolutions technologiques, recherche dans des directions nouvelles. Toutes ces activités sont réalisées à un haut niveau d'expertise.

Les trois horloges à fontaine atomique qui sont actives au SYRTE (une caractéristique unique parmi les laboratoires de métrologie du monde entier) représentent une activité de service essentielle pour la métrologie du temps qui est prise en charge par le SYRTE. Dans ce but, les données fournies par les trois fontaines sont l'élément clé pour l'exactitude de fréquence du temps atomique français et sont également fournies au BIPM pour le pilotage du temps atomique international. Depuis 2007, elles ont un poids dominant au niveau mondial dans la réalisation de la seconde via UTC. L'effort très grand sur la fontaine de rubidium a été reconnu par le CIPM en considérant la fréquence du rubidium mesurée au SYRTE comme une valeur de référence. En parallèle, l'outil technique avancé représenté par les fontaines a permis d'atteindre d'importants résultats de recherche fondamentale comme le test sur la stabilité des constantes fondamentales et le test sur l'invariance de Lorentz. Enfin les fontaines ont été utilisées comme soutien au programme spatial PHARAO en particulier par des comparaisons effectuées au CNES de Toulouse.

Ces résultats de recherche de haute qualité et dans des directions variées, sont obtenus dans un laboratoire dont la structure est tout à fait adaptée à la recherche fondamentale à court terme, mais pas vraiment pour réaliser une activité de service pérenne de haute précision. Les différentes tutelles du SYRTE devraient donc fournir un soutien fort à ces missions d'une importance considérable. En particulier, les fontaines font partie de cette mission de métrologie assignée au SYRTE qui devrait lui permettre d'accueillir également du personnel technique au niveau ingénieur pour atteindre les buts de ses missions.



La construction de l'horloge compacte à atomes froids HORACE vise à produire un système avec des dimensions très restreintes qui sera utilisé dans un vaste spectre d'applications, soit dans l'espace (Airbus Zero-G puis satellite GALILEO), soit pour la DGA. Aussi, bien que le comité n'ait pas pu examiner en détail ce projet faute de temps, le grand intérêt marqué par la DGA montre à l'évidence les grandes potentialités technologiques de cette activité.

Dans la catégorie des horloges compactes, il faut également noter l'horloge à piégeage cohérent de population qui se base sur la préparation d'un système atomique à trois niveaux dans un état non-absorbant. Ce type d'horloge a été proposé il y a quelques années et les récents développements technologiques ont donné lieu à un grand intérêt de la part de l'industrie. En effet, aux États-Unis, des produits commerciaux basés sur le piégeage cohérent des populations sont déjà sur le marché. Bien que le SYRTE n'ait abordé cette activité qu'assez récemment, le développement d'une technique originale, interrogation pulsée de type Ramsey, a permis des gains très substantiels et l'horloge CPT du SYRTE détient le record de stabilité de fréquence pour une horloge CPT, avec une stabilité de  $6 \times 10^{-13}$  à 1 seconde et de  $2 \times 10^{-14}$  à 1000 secondes.

Le projet d'horloge sur puce atomique TACC représente une nouvelle direction qui mérite d'être explorée et qui peut donner des résultats importants tant au niveau scientifique que technologique. Une collaboration sur ce sujet est soutenue par l'IFRAF et cette collaboration augmente la probabilité de succès du projet.

### Equipe Métrologies des fréquences optiques

Les documents fournis et les présentations des diverses activités sont d'excellente qualité. Les missions de cette équipe dans le cadre du laboratoire de métrologie du domaine Temps-Fréquence sont très claires et ses résultats la placent au meilleur niveau international car elle obtient des résultats très compétitifs par rapport aux laboratoires américains (JILA, NIST). L'équipe a bien rempli ses objectifs du quadriennal qui se termine, malgré quelques avatars liés aux retards d'aménagement de locaux qui ont bloqué un peu l'avancement des projets.

La fréquence de l'horloge optique à strontium atomique a été mesurée et la valeur obtenue est en très bon accord avec celles des groupes américains et japonais. Une deuxième horloge à strontium est en cours de construction et la comparaison directe de ces deux horloges devrait permettre de démontrer une stabilité relative de fréquence meilleure que  $10^{-16}$ .

Le projet d'horloge optique à mercure atomique qui a démarré en 2006 est plus difficile et il a fallu développer des lasers ultra-stabilisés sur cavité ainsi que des lasers doublés en fréquence, dans le domaine UV. Malgré la difficulté considérable de cette expérience, des résultats très importants ont déjà été obtenus avec l'obtention du piégeage d'un nuage de mercure atomique dans une trappe magnéto-optique ainsi que l'observation de la transition d'horloge  $^1S_0-^3P_0$  dans les isotopes fermioniques avec résolution complète du doublet de recul.

Le projet OPUS est destiné à remplacer, à terme, l'oscillateur à saphir cryogénique utilisé pour l'interrogation des fontaines atomiques. Basé sur un oscillateur optique ultra-stable asservi sur un Fabry-Perot à très haute finesse, ce système permet de générer, à partir du rayonnement laser, un signal micro-onde de très haute stabilité de fréquence. Les premiers résultats obtenus sont extrêmement encourageants, puisqu'ils sont déjà d'un niveau de stabilité comparable à celui du saphir cryogénique sur des durées de l'ordre de la seconde.

Enfin, le Lien Optique Ultra-Stable (LOUS), développé à l'origine pour échanger des signaux ultra-stables avec le Laboratoire de Physique des Lasers situé à Villeneuve (longueur de fibre : 43 km), se place au niveau de l'état de l'art international, avec des performances comparables à celles obtenues par le JPL pour le Deep Space Network. L'originalité réside dans l'utilisation de fibres standards du réseau fibré métropolitain, dont les fluctuations de phases dues aux perturbations environnementales (température, vibrations, etc.) sont corrigées électroniquement. Ce choix permet de réaliser des économies substantielles par rapport à l'achat de fibres à faible coefficient thermique et à la réalisation en milieu urbain de tranchées spécifiques d'au moins un mètre de profondeur. Les résultats obtenus, de l'ordre de quelques  $10^{-15}$  @ 1 seconde et  $10^{-18}$  @ 1 jour sur 86 km (aller-retour), sont au-delà des spécifications requises pour comparer des signaux d'une stabilité comparable à celle des fontaines atomiques du SYRTE. Bien plus, l'utilisation de réseaux fibrés tels que RENATER, par exemple, permet d'envisager des liaisons de ce type sur des distances de plusieurs centaines de km, offrant une alternative bon marché aux autres méthodes de transfert de fréquence (Two Way Satellite Time and Frequency Transfer) à l'échelle nationale, voire de l'Europe de l'ouest.



## Equipe Interférométrie atomique et capteurs inertiels

Cette équipe étudie, tant du point de vue théorique qu'expérimental, des interféromètres atomiques à atomes froids pour réaliser des capteurs inertiels de grande sensibilité et de haute exactitude. Elle a, en particulier, développé un gyromètre-acceleromètre très original utilisant deux fontaines atomiques tête-bêche où les deux nuages d'atomes froids parcourent la même trajectoire parabolique en sens inverse. Cela donne accès à l'accélération selon une direction et à la rotation selon un axe. De plus, on a accès aux six axes d'inertie en modifiant séquentiellement les directions des faisceaux lasers. Un appareil compact a été réalisé, dont la sensibilité aux vitesses de rotation est  $2,4 \times 10^{-7}$  rad/s sur une seconde de mesure (et  $10^{-8}$  rad/s aux temps longs) et celle aux accélérations  $5,5 \times 10^{-7}$  m/s<sup>2</sup> (et  $10^{-8}$  m/s<sup>2</sup> aux temps longs). Ces performances sont comparables aux meilleurs gyromètres et acceleromètres utilisant des technologies standard. Cette expérience va être poursuivie avec une géométrie à quatre impulsions qui va permettre d'augmenter l'aire de l'interféromètre d'un facteur 300.

Dans le cadre du projet balance du watt du LNE, l'équipe a aussi construit un gravimètre absolu à atomes froids. L'objectif est de dépasser les performances des gravimètres absolus à coin de cube de type FG5. La sensibilité de l'appareil, actuellement limitée par les vibrations à  $2 \times 10^{-8}$  g sur une seconde, est comparable au gravimètre absolu le plus précis, le gravimètre FG5 utilisant la mesure par interférométrie optique de la chute d'un coin de cube. Du point de vue de l'exactitude, une comparaison avec un gravimètre à coin de cube a montré un écart de  $1,6 \times 10^{-8}$  g qui est sans doute dû à la mauvaise qualité des fronts d'onde. Une nouvelle version de l'appareil utilisant des optiques de meilleure qualité est en cours de montage. Ce montage permettra aussi, dans une étape ultérieure, de partir d'un condensat de Bose-Einstein pour réduire la vitesse transverse des atomes. On peut aussi noter que l'appareil du SYRTE permet de faire quatre mesures par seconde alors que les gravimètres à coin de cube font une mesure toute les dix secondes. L'équipe a aussi montré qu'il était possible de diminuer le bruit dû aux vibrations en les mesurant avec un sismographe et en faisant un traitement des données a posteriori.

L'équipe participe aussi à deux collaborations. L'une, ICE avec le LCFIO et l'ONERA, a pour but de réaliser un interféromètre atomique en chute libre dans l'avion zéro-g du CNES. L'objectif scientifique est le test du principe d'universalité de la chute libre entre deux espèces atomiques (rubidium et potassium). L'autre collaboration, BIARO, avec le LCFIO dans le cadre de l'IFRAF, a pour but de réaliser un condensat de Bose-Einstein dans une cavité optique de grande finesse. Cette cavité devrait permettre une détection non destructive basée sur des mesures de déphasages. Elle devrait aussi permettre de tester un nouveau type d'interféromètre multi-arches. Il s'agit d'un concept très original où les faisceaux lasers Raman sont utilisés pour diffracter les fonctions d'onde atomiques et pour faire léviter les atomes.

Enfin, en synergie avec l'équipe « Physique fondamentale et métrologie », une nouvelle expérience FORCA-G est en cours de montage pour mesurer les forces à courtes distances entre un atome et une paroi, en particulier la force de Casimir et une éventuelle déviation à la loi de l'attraction universelle.

Du point de vue théorique, l'équipe a fait un remarquable travail de compréhension des interféromètres atomiques : généralisation à l'optique atomique des méthodes de l'optique photonique, description complète de l'interaction entre les ondes atomiques et les champs électromagnétiques, modélisation des effets parasites pour prendre en compte correctement les imperfections expérimentales.

En conclusion, il s'agit d'une équipe jeune et très dynamique. Ses réalisations sont au meilleur niveau et ses projets s'appuient sur un savoir faire remarquable et des objectifs scientifiques de premier plan.

## Equipe Théorie et Métrologie (partie "temps")

L'équipe effectue un travail actif d'interprétation des résultats expérimentaux des fontaines atomiques du laboratoire en termes de physique fondamentale: tests du principe d'équivalence, variations des constantes fondamentales, test de l'effet Einstein sur ACES, etc.

De plus deux nouveaux projets sont proposés :

FORCA-G pour la mesure des forces à courte distance grâce à l'interférométrie atomique. Cette expérience très intéressante a des potentialités extrêmement importantes si on peut en déduire une mesure de la force gravitationnelle à courte distance. Plusieurs modèles d'unification des forces fondamentales auraient des conséquences mesurables pour la force gravitationnelle à courte distance.



SAGAS est un projet spatial ambitieux d'un satellite avec horloges atomiques embarquées visant à tester la gravitation dans le système solaire: effet Shapiro, mesure des paramètres PPN, rougissement gravitationnel. En principe, les tests de la gravitation s'effectuent dans un régime de champs forts et donc proche du soleil. SAGAS aura la particularité d'effectuer des tests en champ faible loin du soleil jusqu'à 50 UA. Cela confère à ce projet une grande originalité. L'un des buts est de tester l'anomalie Pioneer. Cependant, il y a un effort actuellement pour mieux comprendre l'influence du recul d'origine thermique sur les sondes Pioneer grâce à de nouvelles données. De ce point de vue, l'intérêt de SAGAS sera pleinement justifié seulement quand il aura été prouvé que l'anomalie Pioneer ne peut pas être imputable à un tel effet.

En conclusion générale sur l'ensemble de la Thématique Temps-Fréquence, la notoriété de l'équipe se mesure au nombre relativement élevé de ses présentations aux congrès internationaux et de ses partenariats industriels (Thales, Sodern, ...). Les publications de l'équipe reflètent bien son excellent travail scientifique. Les sujets en émergence ne manquent pas et l'équipe a montré plus d'une fois qu'elle sait prendre des risques mesurés en faisant des évolutions nécessaires dans les sous-équipes (exemple : R&D technologique pour un laser stabilisé spatialisable). Un effort non négligeable est fait en faveur de l'enseignement et de la diffusion des connaissances (enseignements en Master) et des recrutements seront nécessaires dans les années à venir pour garder en adéquation les moyens dont dispose l'équipe et les nombreux projets dont elle a la charge.

**Nom de l'équipe : la métrologie temps-fréquence, l'interférométrie atomique et ses applications aux capteurs inertiels**

Note de l'équipe	Qualité scientifique et production	Rayonnement et attractivité, intégration dans l'environnement	Stratégie, gouvernance et vie du laboratoire	Appréciation du projet
A+	A+	A+	A	A+

**Thématique Espace : les systèmes de référence céleste et la rotation de la Terre**

Cette thématique est explorée par 3 équipes qui se sont formées à partir du regroupement de très petites équipes (2-3 personnes), suite à une réflexion lors du précédent contrat quadriennal. Même si les objectifs et les contours sont bien définis pour chacune de ces trois équipes, il existe une porosité scientifique naturelle entre elles et les échanges formels (réunions régulières) et informels ne peuvent qu'être salués et encouragés. L'arrivée récente (2007) d'un chercheur à 50% dans l'équipe « Rotation de la Terre et Géodésie Spatiale » et à 50% dans l'équipe « Systèmes de Référence Céleste » démontre bien cette volonté. De même deux services, IVS/OPAR (centre d'analyse opérationnelle et de données du Service International VLBI pour la Géodésie et l'Astrométrie), et POLAC (Paris Observatory Lunar Analysis Centre ) sont en interaction avec ces équipes. En revanche, ces deux dernières équipes ayant une forte implication dans des services internationaux de l'IERS (Service International de la Rotation de la Terre et des Systèmes de Référence), à savoir respectivement EOP-PC (paramètres de rotation de la Terre) et ICRS-PC (références célestes ), il est important de garder leurs identités respectives pour une meilleure lisibilité au niveau national et international. L'équipe « Théorie et Métrologie » joue, quant à elle, un rôle transverse permettant de continuer et/ou d'initier des sujets de recherche émergents.

**Equipe Systèmes de référence céleste**

L'équipe « Systèmes de Référence Céleste » est très impliquée dans les services internationaux IVS/OPAR, POLAC, et ICRS-PC et ce depuis très longtemps. Outre cette activité de service, sa contribution à la redéfinition des différents standards et conventions est des plus importantes, notamment au travers de la nouvelle version de l'ICRF (International Celestial Reference Frame) qui sera proposée en 2009 lors de l'assemblée de l'UAI à Rio. Bien que nouvellement créée, cette équipe montre un réel dynamisme et a su puiser dans les compétences spécifiques de chacun pour mener en commun un projet d'envergure en réalisant la base de données de quasars la plus importante, publiée en 2008 sous la forme du LQAC (Large Quasar Astrometric Catalogue).



Le dynamisme de cette équipe est aussi attesté par son implication dans de nouvelles activités de recherche (par exemple la réduction des clichés MEGACAM du télescope Canada-France-Hawaii dans un but astrométrique ou les études sur le satellite WMAP) pour la préparation de la mission spatiale astrométrique GAIA de l'ESA.

#### **Equipe Rotation de la Terre et Géodésie Spatiale**

L'équipe est très impliquée dans des services internationaux, principalement l' « International Earth Rotation and Reference Systems Service » (IERS), pour lequel elle est centre des produits EOP (Earth Orientation Parameters). L'ensemble des observations mondiales des différentes techniques de géodésie spatiale (VLBI, GNSS, SLR, LLR, DORIS) y sont réunies et combinées pour produire les séries temporelles des paramètres d'orientation de la Terre (EOP) qui sont mis à la disposition de la communauté internationale (géodésie spatiale, astronomie, ...) pour les analyses scientifiques. La force de cette équipe réside aussi dans les recherches théoriques qui ont débouché sur d'excellents résultats comme, par exemple, la théorie de la précession qui a été récemment adoptée par l'Union Astronomique Internationale (2006) mais aussi dans des recherches innovantes en ce qui concerne les interactions entre l'atmosphère, les océans, l'hydrosphère et la rotation de la Terre ainsi qu'en ce qui concerne les analyses basées sur les mesures de télémétrie laser sur la Lune. Les recherches effectuées par cette équipe revêtent souvent un caractère pluridisciplinaire à la frontière de l'astronomie, la géodésie et la géophysique, caractère qui est très apprécié par la communauté internationale. Cependant, afin de préserver ce très haut niveau de recherche dans le futur, il est absolument nécessaire de recruter un nouveau chercheur entre 2010 et 2013 pour pallier un départ à la retraite. Prenant en considération les nombreuses activités de cette équipe pour assurer un service international régulier et fiable, le groupe semble manquer de postes d'ingénieurs et techniciens qui ont été perdus durant les années passées.

#### **Equipe Théorie et Métrologie (partie « Espace »)**

Cette équipe est principalement impliquée dans la préparation de deux expériences majeures.

D'une part, GAIA pour la modélisation relativiste de la trajectoire des photons dans le champ gravitationnel du système solaire: intégration numérique du mouvement dans un système à N corps à l'approximation 1PN; influence des moments multipolaires des planètes sur la déflexion de la lumière; problème général des éphémérides à 1PN auquel le groupe a apporté une contribution.

D'autre part, ACES pour le calcul relativiste du transfert de temps et de fréquence de l'orbite aux stations sol (par lien micro-onde). Une nouvelle méthode très générale a été mise au point basée sur les fonctions d'univers en relativité générale, qui appliquée à ACES a permis d'obtenir le transfert à l'ordre  $1/c^4$  correspondant à une précision de 1 ps.

Ces activités importantes s'insèrent parfaitement bien dans les thématiques du laboratoire et, de plus, elles semblent bien coordonnées avec les autres groupes dans le monde. En outre, l'équipe a des projets plus théoriques: dynamique des corps étendus en relativité générale, tests de théories  $f(R)$ , etc. mais ceux-ci sont pour l'instant plus vagues.

L'équipe, dont l'origine est purement théorique (section 02 du CNRS), a bénéficié depuis sa venue au SYRTE d'un environnement proche des expériences. Il est donc très dommage qu'elle risque de disparaître à cause du départ en retraite des deux chercheurs CNRS. On peut espérer le recrutement d'un jeune de l'équipe actuellement sur poste d'ATER au laboratoire mais on peut se demander si les responsabilités vis-à-vis de GAIA et ACES ne vont pas devenir trop lourdes pour de jeunes épaulés.



#### Nom de l'équipe : les systèmes de référence céleste et la rotation de la Terre

Note de l'équipe	Qualité scientifique et production	Rayonnement et attractivité, intégration dans l'environnement	Stratégie, gouvernance et vie du laboratoire	Appréciation du projet
A+	A+	A+	A+	A

#### Thématique Histoire : l'histoire de l'astronomie

Malgré sa petite taille en chercheurs statutaires, l'équipe d'histoire de l'astronomie montre une grande vitalité de par sa production scientifique. Celle-ci est centrée sur l'édition critique et commentée de plusieurs textes s'étalant des débuts de l'âge classique jusqu'à l'âge des lumières. Il est d'abord question d'une traduction française commentée du *De revolutionibus orbium coelestium* de Copernic. Celle-ci sera accompagnée non seulement d'un appareil de notes, mais aussi d'une très large introduction et du texte original convenablement rétabli. L'ensemble constitue trois gros volumes actuellement sous presse aux éditions Les Belles-Lettres. Ce même éditeur accueille aussi – sous le titre général 'La guerre des astronomes' – une collection de différents textes astronomiques du XVI<sup>ème</sup> siècle, dont des traités de Tycho Brahe et Kepler, traduits en français, commentés et accompagnés de notes et introductions. Ce travail d'envergure est fait en collaboration avec N. Jardine, professeur à l'université de Cambridge. Ce travail d'édition et de traduction s'accompagne de plusieurs études qui ont donné lieu à des monographies et à plusieurs articles portant sur l'astronomie pré-copernicienne, en particuliers sur les œuvres de Regiomontanus et Peurbach (une édition de la *Theoricæ novæ planetarum* de Peurbach est prévue à moyen terme).

A ce premier volet de publications, s'en ajoute un autre concernant la postérité de la mécanique et de la théorie de la gravitation universelle de Newton, en particulier pour ce qui est de leurs transformations analytiques et de leurs applications à l'hydrodynamique et à l'optique. Par ce biais, on parvient à retracer un parcours scientifique portant jusqu'à la théorie de la relativité. Plusieurs ouvrages et articles dans des revues internationales, souvent en anglais, témoignent de cette activité. Parmi les projets en ce domaine de recherche, il est bon de rappeler celui d'une édition critique, faite sur la base du manuscrit original, de la traduction des *Principia* de Newton par la Marquise du Châtelet, accompagnée de ses notes et réflexions.

Plusieurs chercheurs de l'équipe sont enfin fortement engagés dans le projet des éditions des œuvres complètes de d'Alembert, dont les premiers volumes sont apparus aux Editions du CNRS. La direction de ce projet (qui vise la publication finale d'une soixantaine de volumes) ainsi que la préparation de plusieurs volumes, dont certains déjà publiés ou sous presse, sont assurées au sein de l'équipe. Ce travail fort précieux d'édition s'accompagne de recherches portant sur le réseau d'astronomes et de mathématiciens du XVIII<sup>ème</sup> siècle.

Cette masse de publications, auxquelles s'en ajoutent d'autres sur des thèmes plus variés, est la preuve d'une activité scientifique d'excellence. Celle-ci se déploie en grande partie en français et à l'aide d'éditeurs et de revues françaises, mais, compte tenu des thèmes considérés, ce fait n'est pas préjudiciable pour une diffusion et un rayonnement internationaux. L'insertion de l'équipe et de ses membres dans la communauté internationale est d'ailleurs témoignée par plusieurs collaborations avec des chercheurs étrangers et par un bon nombre de publications en d'autres langues (en particulier l'anglais) dans des revues étrangères à comité de lecture.

Ce jugement largement positif ne peut pas cacher une raison de préoccupation concernant le futur de l'équipe, préoccupation qui est liée à une faiblesse intrinsèque de celle-ci : parmi les quatre membres titulaires, un est fort proche de la retraite, et parmi les trois autres, un seulement (par ailleurs chargé de nombreuses responsabilités collectives, dont la direction d'une UMS) possède une HDR ; les deux membres restants sont arrivés dans l'équipe en 2007, par recrutement comme CR2 et par mutation. Cette mutation concerne une chercheuse qui assure désormais une direction dynamique de l'équipe, témoignée, entre autres, par le très grand nombre de chercheurs associés, qui sont les auteurs d'une grande partie des publications susmentionnées, auxquels s'ajoute un chercheur senior, titulaire d'une bourse de la Communauté Européenne (qui ne restera pourtant dans l'équipe que pour les deux ans à venir).



Cependant, aucun dynamisme ne pourra, à lui seul, pallier à l'absence totale de doctorants et post-doctorants. Compte tenu de la spécificité disciplinaire de l'équipe et de l'absence en France d'autres centres de formation en histoire de l'astronomie, cette absence pèse aussi, au delà de toute autre difficulté de nature budgétaire, sur les perspectives de recrutements futurs capables d'assurer une vraie continuité scientifique.

La direction du SYRTE, ainsi que l'ensemble de son personnel, ont clairement indiqué leur volonté de maintenir cette équipe et de la renforcer. C'est un choix largement partagé par les membres du comité de visite. Il tient certainement à la qualité de la recherche produite, mais aussi aux liens forts de cette équipe et de ses membres avec l'ensemble de l'unité (on remarque, par exemple, que plusieurs volumes des éditions d'Alembert sont préparés par des chercheurs appartenant à d'autres équipes du SYRTE, que le séminaire général organisé par l'équipe d'histoire est largement fréquenté par les chercheurs de l'unité, que ceux-ci sont souvent les premiers lecteurs et premiers critiques des *preprints* des articles écrits au sein de cette dernière équipe, et que les compétences de celle-ci seront utiles pour la création du *Parcours sur le temps*, prévu sur l'emplacement de l'Observatoire). Mais une condition indispensable pour ce maintien est la connexion de l'équipe à des programmes de master et à des écoles doctorales et l'accueil d'un certain nombre de doctorants et de post-doc. Pour que ceci soit possible, un ou deux recrutements (dont possiblement un enseignant-chercheur) et l'obtention d'une HDR supplémentaire sont nécessaires à court terme.

Le comité d'experts pense aussi que l'équipe d'histoire de l'astronomie du SYRTE pourrait fournir le contexte d'accueil naturel pour les activités d'un chercheur chargé de reconstruire l'histoire de l'Observatoire de Paris et d'en valoriser le patrimoine.

#### Nom de l'équipe : l'histoire de l'astronomie

Note de l'équipe	Qualité scientifique et production	Rayonnement et attractivité, intégration dans l'environnement	Stratégie, gouvernance et vie du laboratoire	Appréciation du projet
A+	A+	A+	B	A

## 5 • Analyse de la vie de l'unité

- Le personnel chercheur et enseignant-chercheur :

Le personnel chercheur et enseignant chercheur a été renforcé par des recrutements récents, ce qui entraîne donc une forte présence de jeunes chercheurs. Le laboratoire compte également 19 chercheurs ou enseignants chercheurs âgés de plus de 55 ans, dont 11 chercheurs associés et cette situation implique de nombreux départs à la retraite (ou arrêt d'activité pour ceux qui sont déjà retraités) dans les prochaines années.

Le dynamisme du personnel chercheur est remarquable :

- Le laboratoire a initié de nombreux projets menés localement ;
- Les chercheurs et enseignants-chercheurs du laboratoire participent aussi à de nombreuses collaborations nationales et internationales ;
- Les chercheurs et enseignants-chercheurs assument des missions variées de formation, de vulgarisation et d'enseignement, même pour ceux qui n'ont pas de charge statutaire.



– Le personnel ITA :

L'activité des ITA peut être séparée en différentes composantes :

- D'une part, les activités habituelles, comme dans tous les laboratoires équivalents, avec les services administratifs, le support informatique et les services mécanique et électronique ;
- D'autre part, des activités de service importantes liées aux activités de génération et mise à disposition de références de temps, ou aux centres de produits IERS, que ce soit au niveau français ou international.

Le comité a noté la très grande qualité du travail technique réalisé par les différents services pour ses développements instrumentaux de technologie de pointe, avec des performances au meilleur niveau international.

L'effectif des ITA/ITARF n'a pratiquement pas augmenté alors que l'activité de recherche s'est beaucoup accrue. D'une part, les anciennes expériences ne sont pas arrêtées quand elles perdent le caractère de recherche exploratoire car elles acquièrent alors un rôle opérationnel important. L'exemple le plus clair est celui des horloges à fontaine atomique, qui servent à étalonner les échelles de temps au niveau français et international. D'autre part, 13 nouvelles expériences ont été construites et 10 nouveaux chercheurs travaillent au SYRTE. Pendant ce temps, l'effectif ITA/ITARF n'a pas été renforcé, à l'exception du personnel administratif qui a reçu un petit renfort.

Cette situation peut être considérée comme inquiétante, d'autant plus que le personnel impliqué dans certaines activités possède une technicité vraiment spécifique et qu'il serait difficile de remplacer ce personnel s'il venait à partir. On peut également craindre que, à terme, la surcharge des personnels des services (électronique, mécanique) ne leur permette pas de consacrer assez de temps à la veille technologique. D'autre part, le personnel ITA regrette de ne pas être suffisamment impliqué dans les phases initiales de l'engagement du laboratoire dans de nouvelles expériences.

Le service du temps a alerté le comité sur le manque de personnel ITA dans ce service. La situation a évolué au cours du dernier contrat quadriennal, avec des départs et une arrivée sur CDD qu'il va falloir stabiliser. Le caractère astreignant de ce service rend difficile un fonctionnement prolongé en sous-effectif. Il semble nécessaire que la direction du laboratoire donne une forte priorité au renforcement de ce service, en utilisant si nécessaire les financements LNE pour recruter le personnel nécessaire.

Les représentants du personnel ITA ont mentionné ressentir un déficit sur leur déroulement de carrière par rapport à ceux d'autres laboratoires : les promotions des ITA CNRS sont jugées insuffisantes en nombre et la situation concernant celles des ITRF est encore moins claire. La direction devrait analyser cette question afin d'essayer de compenser ce problème s'il est réel ou d'expliquer la situation afin d'éviter que le début de malaise mentionné ne se développe.

– Les doctorants et des post-docs :

La rencontre avec les doctorants et post-docs a montré que ceux-ci sont très satisfaits des conditions matérielles de leur thèse et en particulier du savoir-faire des services communs.

Tous les doctorants ont un financement correct. La durée moyenne des thèses s'établit à environ 3 ans et 6 mois mais la direction du SYRTE vise à réduire cette durée à 3 ans. Si la thèse dépasse la durée de la bourse initiale, un salaire, prélevé sur les ressources contractuelles du laboratoire, est versé par l'Observatoire pour la durée complémentaire. Les monitorats sont peu nombreux, ce qui résulte probablement du fait qu'il y a peu de bourses venant du MEN.

Les doctorants ont soulevé un problème lié à un manque de chercheurs titulaires d'une HDR dans le laboratoire, au moins dans certaines thématiques. Quand le directeur scientifique du projet n'a pas l'HDR, il ne peut pas être le directeur officiel de la thèse et cette direction est assumée par un titulaire de l'HDR, qui n'est pas forcément proche de la thématique de la thèse. D'après les doctorants, cette situation aurait contribué à l'abandon d'une thèse. Une autre conséquence est que les doctorants, étant souvent trop impliqués dans les impératifs d'avancement de leur projet, ne sont pas fortement poussés à publier, ce qui se traduit effectivement par quelques doctorants qui ont soutenu leur thèse avec très peu de publications (éventuellement zéro) dans des revues internationales à comité de lecture.



Les doctorants sont rattachés à sept écoles doctorales et le suivi de la progression de la thèse, assuré par ces écoles, est de qualité très variable. La journée des thèses de l'Observatoire de Paris serait peu suivie mais le séminaire du SYRTE, avec de fréquentes présentations effectuées par les doctorants, est bien suivi par les doctorants.

Les doctorants ont un représentant élu au conseil de laboratoire du SYRTE mais cette représentation n'a pas existé réellement durant les deux dernières années.

– Les locaux :

Le laboratoire SYRTE utilise des salles réparties dans plusieurs bâtiments de l'observatoire de Paris, ce qui ne facilite pas une vision globale. La surface totale de ces locaux est de 1965 m<sup>2</sup>, ce que le comité juge très faible pour l'effectif total de l'unité (106 personnes) surtout si l'on considère l'ensemble des expériences existantes et des services communs. De plus, certains locaux ne sont pas vraiment bien adaptés à leur usage actuel : c'est particulièrement le cas des horloges micro-ondes à fontaines atomiques qui sont dans des locaux situés sous la cantine et peu adaptés à la situation pérenne d'une activité opérationnelle de ce niveau technologique et de précision.

Cependant, la situation s'est beaucoup améliorée récemment. En effet, grâce à divers crédits et en particulier à ceux de l'IFRAF (Institut Francilien de Recherche sur les Atomes Froids), un gros effort de rénovation de locaux a été fait durant les 4 dernières années et plusieurs salles d'expériences ont pu être ainsi très récemment et très bien rénovées. Un besoin crucial de locaux subsiste cependant, tout particulièrement pour l'activité ultra-vide et pour l'atelier de mécanique.

– L'hygiène et la sécurité :

La direction, avec l'aide de l'ACMO Hygiène et Sécurité, a effectué un gros travail visant à améliorer les conditions de travail, du point de vue de l'hygiène et de la sécurité. Un budget a été réservé à cet effet et des actions importantes ont été menées.

– La formation permanente du personnel :

Le nombre de formations suivies par le personnel a fortement augmenté de 2005 à 2007. Ces formations sont très variées et le laboratoire a payé sur ses ressources certaines formations qui n'étaient pas proposées par les tutelles.

– La gouvernance :

La solution actuelle, avec un directeur et deux directeurs adjoints, a été mise en place au début du contrat quadriennal qui s'achève. Les représentants du Conseil de Laboratoire considèrent que cette organisation s'est révélée très efficace. L'ensemble des trois directeurs a ainsi pu se partager des tâches qu'un seul directeur ne pouvait arriver à gérer.



## 6 • Conclusions

### – Points forts :

Le comité a un jugement très positif sur l'activité de recherche des différentes équipes. Les activités étant très différentes, le jugement doit être un peu affiné.

Pour l'équipe travaillant sur la métrologie temps-fréquence, l'interférométrie atomique et ses applications aux capteurs inertiels, l'activité de recherche a été jugée comme tout à fait remarquable et les résultats obtenus sont au meilleur niveau de la compétition internationale pratiquement dans tous les domaines couverts par cette équipe et tout particulièrement sur les échelles de temps, sur les horloges micro-ondes à fontaine, sur les horloges optiques et sur les applications de l'interférométrie atomique aux senseurs inertiels.

Pour les équipes étudiant les systèmes de référence célestes et la rotation de la Terre, le comité a remarqué le grand dynamisme de ces équipes et la forte reconnaissance de leurs travaux qui est clairement attestée par le rôle très important que ces équipes jouent dans des programmes internationaux.

Pour l'équipe théorie, les résultats acquis représentent un travail considérable, tout à fait original et tout à fait nécessaire aux développements actuels des expériences en cours ou prévues. Les interactions de cette équipe avec les équipes expérimentales sont extrêmement fructueuses et semblent jouer un rôle important dans les résultats du laboratoire.

L'activité de l'équipe histoire de l'astronomie est considérée comme excellente et sa production est très considérable.

Les projets des diverses équipes sont également considérés comme très intéressants et très bien situés dans le contexte international.

En résumé, ce laboratoire pluridisciplinaire est vraiment très bien placé dans la compétition internationale dans ses divers domaines de recherche.

La gouvernance en équipe a montré son efficacité, avec des efforts et des résultats très positifs dans de nombreux domaines : au premier plan, un dynamisme de recherche exceptionnel et, si l'on rentre plus dans le fonctionnement, une réorganisation des équipes, l'amélioration importante des locaux, des travaux importants d'hygiène et de sécurité.

### – Points faibles :

Les points faibles notés par le comité sont les suivants :

- Le laboratoire développe de très nombreuses activités de recherche originales tandis que le personnel disponible n'augmente pas autant que le nombre d'activités. De plus, certaines expériences très complexes comme les horloges micro-ondes à fontaine, qui ne font plus partie du domaine de la recherche proprement dite, doivent être maintenues en fonctionnement pour leur rôle opérationnel dans les échelles de temps : une telle situation est coûteuse en personnel. D'autre part, certaines activités sont déjà sous dotées en personnel chercheur ou ITA et d'autres risquent de le devenir rapidement, par exemple si les départs à la retraite ne sont pas compensés par des recrutements. Il y a là une situation préoccupante que la direction doit analyser pour adapter le nombre d'activités au potentiel humain disponible.
- Le suivi des doctorants nous a paru un peu décevant. En particulier, malgré des résultats de qualité, certains doctorants terminent leur thèse avec très peu de publications dans des revues internationales à comité de lecture.
- Malgré les gros efforts récents de rénovation des locaux, efforts que le comité a noté très positivement, certains locaux doivent encore être améliorés et la surface disponible n'est pas suffisante pour un laboratoire qui, de plus, est en rapide croissance.



– Recommandations à la direction du laboratoire :

La croissance du nombre d'activités de recherche est plus rapide que celle du personnel disponible ce qui crée une situation préoccupante. Ce problème d'effectif insuffisant est particulièrement fort pour le personnel ITA, en particulier à cause du caractère opérationnel de certaines activités du SYRTE. Pour la période 2009-2013, le projet de recherche demande 9 postes de chercheurs ou d'enseignants-chercheurs et 13 postes ITA/ITARF (8 ingénieurs, 4 assistants-ingénieurs et 1 technicien, dont 5 postes en CDD de longue durée). Le comité considère que ces besoins sont bien justifiés au vu des activités en cours et des projets ainsi que des départs à la retraite récents ou prévus. Cependant, il n'est pas certain que cette demande, qui est considérable (entre le quart et la moitié de l'effectif actuel du laboratoire), soit couverte intégralement et, dans ce cas, le laboratoire devra impérativement adapter ses projets au potentiel humain disponible.

Il faudrait aussi associer le personnel ITA le plus en amont possible aux nouveaux projets pour que la charge de travail qui leur incombe soit prise en compte et prévue le plus tôt possible.

Il faudrait :

- Améliorer le suivi des doctorants et le comité suggère pour cela des mesures de natures variées. Il faudrait prévoir la présence effective d'un ou deux représentants des doctorants et post-docs au conseil de laboratoire pour alerter le conseil si nécessaire. Il faudrait aussi prévoir un suivi de l'avancée des thèses et des publications associées, dans le cas où l'Ecole doctorale ne le fait pas. Il faudrait enfin que le responsable officiel de la thèse en soit aussi le responsable scientifique,
- Encourager les jeunes chercheurs à passer leur HDR dès que possible, pour pouvoir être le responsable officiel des thèses qu'ils encadrent scientifiquement et aussi pour éviter les retards de carrière, l'HDR étant fréquemment exigée pour les promotions (par exemple, par certaines sections du comité national de la recherche scientifique pour une promotion dans le corps des directeurs de recherche),
- Encourager les équipes qui publient peu dans des revues internationales à comité de lecture à faire un effort dans ce sens : la qualité des résultats obtenus justifie tout à fait la production d'un plus grand nombre de publications de ce type et l'effort demandé ne devrait pas être énorme, car la plupart des équipes produisent déjà des articles dans les comptes-rendus de congrès. De plus, certaines équipes pourraient faire un effort pour publier des résultats ou méthodes intermédiaires plus techniques sans attendre les résultats physiques complets.

– Recommandations aux tutelles :

Le laboratoire SYRTE a une activité de recherche très soutenue et de qualité tout à fait remarquable, ce qui le place au meilleur niveau de la compétition internationale dans la très grande majorité de ses domaines de recherche. De plus, il a une importance stratégique dans le dispositif national et international de métrologie du temps et des fréquences.

Ce laboratoire a un besoin urgent de postes de chercheurs et d'enseignants chercheurs et de postes d'ITA. Les demandes présentées nous semblent très bien justifiées et le comité encourage vivement les tutelles à tout mettre en œuvre pour soutenir ce laboratoire par les postes qui lui sont nécessaires. L'Université Paris 6, qui n'a qu'un seul enseignant chercheur au SYRTE, devrait renforcer son implication dans ce laboratoire.

Ce laboratoire a enfin un besoin urgent d'amélioration des locaux existants et de surfaces supplémentaires adaptées à ses besoins. Il est nécessaire que l'Observatoire de Paris fasse un effort pour répondre rapidement à ces besoins.



Note de l'unité	Qualité scientifique et production	Rayonnement et attractivité, intégration dans l'environnement	Stratégie, gouvernance et vie du laboratoire	Appréciation du projet
A+	A+	A+	A	A

**Observations sur le rapport AERES du comité d'experts concernant le laboratoire  
SYRTE – Systèmes de Référence Temps-Espace**  
*(UMR 8630 du CNRS, de l'Observatoire de Paris et de l'Université Pierre et Marie Curie)*

Je tiens déjà à remercier tous les membres du comité de visite pour leur investissement considérable dans l'évaluation d'un laboratoire pluridisciplinaire comme 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. Pour gagner encore en efficacité, je me permets de recommander à l'AERES d'assouplir quelques règles lors des rencontres du comité de visite, en laissant entre autres la liberté au président du comité de permettre éventuellement :

- aux invités d'assister aux rencontres avec le conseil de laboratoire, les ITAs, les doctorants, les tutelles,
-   la direction d'assister à la rencontre avec les tutelles.

Je tiens aussi à souligner la qualité et l'exactitude du rapport du comité d'experts sur les différentes facettes de l'activité du SYRTE, ainsi que sa pertinence quant aux conclusions et recommandations. La direction du laboratoire a déjà pris en compte ces éléments pour poursuivre au mieux l'optimisation du fonctionnement et de l'efficacité de l'unité et corriger certains points faibles (voir commentaires ci-dessous).

Je souhaite apporter ici des commentaires à certaines observations du comité :

- Le comité fait part de son inquiétude quant à la croissance du nombre d'activités de recherche (et du passage d'activités de recherche vers les services opérationnels) plus rapide que celle du personnel disponible. Cette situation dénote le positionnement d'exception du SYRTE dans des grands projets dont les enjeux scientifiques et sociétaux imposent une présence active dans un contexte de forte compétition. Une telle croissance est impérative pour assurer au laboratoire de conserver sa position dans le peloton de tête des laboratoires d'excellence mondiaux.

- Le recrutement d'un enseignant-chercheur en Histoire de l'astronomie apportera assurément une solution au problème de survie de l'équipe, d'ouverture sur l'université et de manque de doctorants. L'importance de cette activité (recherche + enseignement) a déjà été soulignée par le Conseil Scientifique de l'Observatoire de Paris qui avait classé en première priorité le recrutement d'un maître de conférence en histoire des sciences. La mise en application de la réforme LRU n'a pas permis de concrétiser l'ouverture d'un poste d'enseignant-chercheur à l'Observatoire mais d'autres pistes sont recherchées, en particulier à l'Université Paris 6.
- Le comité a soulevé le fait que trop de jeunes chercheurs encadrant scientifiquement des thèses n'ont pas encore passé leur HDR. La situation va rapidement se normaliser puisqu'au moins trois chercheurs seront habilités à diriger des recherches avant la fin 2009.
- La direction est en train de mettre en place un plan d'amélioration du suivi des doctorants (mise en place d'une association des doctorants & post-docs, entretiens annuels avec les doctorants, ...).
- Les promotions des personnels ITA/ITARF sont apparemment jugées insuffisantes. Cette situation résulte probablement d'une pyramide des âges assez jeune de ces personnels. Dans les différentes étapes de sélection des promouvables, l'ancienneté insuffisante est hélas souvent utilisée comme un critère négatif au détriment de l'excellence technique. Un retour des commissions nationales serait d'ailleurs bien utile pour les directeurs d'unités afin de comprendre pourquoi certains dossiers ne passent toujours pas après plusieurs années, et ceci malgré l'excellence des candidats.

Paris, le 30 avril 2009

Noël Dimarcq  
Directeur du SYRTE

