

## RAPPORT D'ÉVALUATION DE L'UNITÉ SYRTE - Systèmes de référence temps-espace

### SOUS TUTELLE DES ÉTABLISSEMENTS ET ORGANISMES :

Observatoire de Paris - Université Paris sciences et  
lettres,

Sorbonne Université,

LNE - Laboratoire national de métrologie et  
d'essais,

Centre national de la recherche scientifique -  
CNRS

---

**CAMPAGNE D'ÉVALUATION 2023-2024**  
VAGUE D

Rapport publié le 30/01/2024



Au nom du comité d'experts<sup>1</sup> :

Jean Ballet, Président du comité

Pour le Hcéres<sup>2</sup> :

Stéphane Le Bouler, président par intérim

En vertu du décret n° 2021-1536 du 29 novembre 2021 :

1 Les rapports d'évaluation « sont signés par le président du comité ». (Article 11, alinéa 2) ;

2 Le président du Hcéres « contresigne les rapports d'évaluation établis par les comités d'experts et signés par leur président. » (Article 8, alinéa 5).

Pour faciliter la lecture du document, les noms employés dans ce rapport pour désigner des fonctions, des métiers ou des responsabilités (expert, chercheur, enseignant-chercheur, professeur, maître de conférences, ingénieur, technicien, directeur, doctorant, etc.) le sont au sens générique et ont une valeur neutre.

Ce rapport est le résultat de l'évaluation du comité d'experts dont la composition est précisée ci-dessous. Les appréciations qu'il contient sont l'expression de la délibération indépendante et collégiale de ce comité. Les données chiffrées de ce rapport sont les données certifiées exactes extraites des fichiers déposés par la tutelle au nom de l'unité.

## MEMBRES DU COMITÉ D'EXPERTS

### **Président(e) :**

M. Jean Ballet, CEA Saclay

### **Expert(e)s :**

M. Stéphane Collin, CNRS Palaiseau (représentant du CoNRS)

M. Daniel Comparat, CNRS Orsay

Mme Laurence Guignard, Université Paris-Est Créteil Val de Marne

M. Matthieu Kretzschmar, Université d'Orléans (représentant du CNU)

Mme Agnès Lebre, Université de Montpellier (représentante du CNAP)

M. Giorgio Santarelli, CNRS Talence (représentant du personnel d'appui à la recherche)

## REPRÉSENTANT(E) DU HCÉRES

M. Hervé Wozniak

## REPRÉSENTANT(S) DES ÉTABLISSEMENTS ET ORGANISMES TUTELLES DE L'UNITÉ DE RECHERCHE

Mme Fabienne Casoli, présidente de Observatoire de Paris - PSL

M. Martin Giard, directeur adjoint scientifique astronomie-astrophysique du CNRS - Insu

M. Stéphane Régnier, doyen de la Faculté des Sciences et Ingénierie de Sorbonne Université

Mme Maguelonne Chambon, directrice de la R&D au Laboratoire national de métrologie et d'essais

## CARACTÉRISATION DE L'UNITÉ

- Nom : SYstèmes de Référence Temps-Espace
- Acronyme : SYRTE
- Label et numéro : UMR 8630
- Nombre d'équipes : 7
- Composition de l'équipe de direction : M. Arnaud LANDRAGIN

## PANELS SCIENTIFIQUES DE L'UNITÉ

ST Sciences et technologies  
ST3 Sciences de la terre et de l'univers

## THÉMATIQUES DE L'UNITÉ

La colonne vertébrale du SYRTE est l'obtention de systèmes de référence pour le temps et l'espace. Cette thématique de base s'accompagne d'activités associées utilisant les mêmes moyens, telles que les tests de la relativité générale, la géodésie et des applications industrielles.

Le SYRTE se structure autour de sept équipes scientifiques :

- Rotation de la Terre et Géodésie Spatiale (RTGS) qui s'attache à la mesure précise de la rotation et de la déformation de la Terre à partir de mesures géodésiques et de l'exploitation des liaisons par satellite ;
- Systèmes de Références Célestes (SRC) qui s'attache à définir le meilleur système de référence astronomique à partir d'observations radio et optiques des noyaux actifs de galaxies (AGN) compacts ;
- Théorie et Métrologie (TM) qui est une équipe théorique autour de la relativité générale et de la mécanique quantique ;
- Métrologie des fréquences optiques (FOP) qui s'attache à développer des horloges dans le domaine optique, des lasers ultra-stables et la dissémination de signaux ultra-stables par fibre optique ;
- Références Micro-ondes et Échelles de Temps (RefMET) qui est la gardienne du temps à partir des horloges micro-ondes ;
- Interférométrie Atomique et Capteurs Inertiels (IACI) qui réalise des gyromètres et accéléromètres pour la métrologie ;
- Histoire des Sciences Astronomiques (HSA) qui étudie la manière d'aborder l'astronomie et l'astrophysique, leurs concepts et systèmes de référence, à des époques allant du Moyen-Âge à l'époque contemporaine.

Les deux équipes RTGS et SRC sont petites et assez proches. Elles ont fusionné début 2023 en une seule (REFAG pour Référentiels AstroGéodésiques).

Le pôle « Espace » regroupe les équipes RTGS, SRC et une partie de TM, qui sont liées à l'astronomie (section 17 du CoNRS). Le pôle « Temps-fréquence et capteurs inertiels » (TFCI) regroupe les équipes FOP, RefMET, IACI et l'autre partie de TM, qui sont liées à la physique atomique (section 4) et les sciences de l'ingénieur (section 8). Le pôle « Histoire » est confondu avec l'équipe HSA.

Les fonctions support sont structurées en quatre services ou pôles :

- Administration et Gestion
- Informatique
- Électronique R&D
- Mécanique, Ultravide et Technologies associées (MUTA)

Certains personnels d'appui à la recherche (PAR) sont intégrés dans les équipes scientifiques.

## HISTORIQUE ET LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE DE L'UNITÉ

Le SYRTE actuel est issu de la fusion en 2002 (lors de la précédente restructuration de l'Observatoire de Paris) du département d'astronomie fondamentale de l'Observatoire avec le Laboratoire de l'Horloge Atomique (venu d'Orsay), l'équipe d'histoire des sciences de l'Observatoire et un groupe de théoriciens relativistes.

Le laboratoire est situé à l'Observatoire de Paris (campus Denfert Rochereau), à l'exception de la petite activité de gravimétrie de l'équipe IACI qui se trouve sur le site du Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE) à Trappes (Yvelines).

Le pôle « Espace » se trouve au sein du bâtiment A, à proximité de l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides (IMCCE), qui rejoindra le SYRTE dans le cadre de la restructuration de l'Observatoire de Paris. Les bureaux du pôle TFCI, les expériences de l'équipe RefMET, l'administration et le pôle technique Electronique se trouvent dans le bâtiment B.

Les expériences de l'équipe IACI et le pôle technique MUTA sont localisées dans les ateliers.

Les expériences de l'équipe FOP sont développées dans le bâtiment Foucault.  
L'équipe HSA est localisée dans le bâtiment Perrault.

## ENVIRONNEMENT DE RECHERCHE DE L'UNITÉ

La tutelle principale du SYRTE est l'Observatoire de Paris, composante de l'université Paris Sciences et Lettres (PSL). L'Observatoire héberge le laboratoire, a la responsabilité formelle des services nationaux d'observation (SNO) de l'Insu gérés au SYRTE et fournit dix astronomes et astronomes-adjoints gérés par le CNAP et la moitié des PAR.

Le SYRTE relève aussi du CNRS (Insu, INP, Insis, INSHS) qui fournit 13 chercheurs permanents et l'autre moitié des PAR. Il est un acteur majeur du programme national Gravitation, Références, Astronomie, Métrologie (GRAM) de l'Insu.

Trois enseignants et un ingénieur (surtout dans l'équipe TM) proviennent de Sorbonne Université.

Six chercheurs (surtout dans l'équipe RefMET) relèvent du LNE, qui apporte aussi un important soutien financier au pôle TFCI.

Ses projets spatiaux sont financés par le Centre national d'études spatiales (CNES).

Le SYRTE est l'élément moteur du labex national FIRST-TF (et la fédération de recherche homonyme) qui regroupe tous les laboratoires français impliqués dans la thématique temps-fréquence.

Il participe aussi au réseau européen de métrologie (EURAMET).

Les étalons de temps utilisés sont intégrés au Bureau international des poids et mesures (BIPM).

Le SYRTE co-dirige l'infrastructure de recherche Réseau fibré métrologique à vocation européenne (REFIMEVE, qui permet le transfert par fibre optique sur RENATER de références de fréquence et temps) qui est un équipex commun à plusieurs universités (dirigé par le Laboratoire de physique des lasers de l'université Sorbonne Paris Nord).

## EFFECTIFS DE L'UNITÉ : en personnes physiques au 31/12/2022

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	6
Maîtres de conférences et assimilés	7
Directeurs de recherche et assimilés	5
Chargés de recherche et assimilés	14
Personnels d'appui à la recherche	25
Sous-total personnels permanents en activité	57
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	3
Personnels d'appui non permanents	4
Post-doctorants	12
Doctorants	25
<b>Sous-total personnels non permanents en activité</b>	<b>44</b>
<b>Total personnels</b>	<b>101</b>

## RÉPARTITION DES PERMANENTS DE L'UNITÉ PAR EMPLOYEUR : en personnes physiques au 31/12/2022. Les employeurs non tutelles sont regroupés sous l'intitulé « autres ».

Nom de l'employeur	EC	C	PAR
CNRS	0	13	13
OBS-PSL	9	0	11
LNE	0	6	0
SORBONNE UNIVERSITÉ	3	0	1
AUTRES	1	0	0

<b>Total personnels</b>	<b>13</b>	<b>19</b>	<b>25</b>
-------------------------	-----------	-----------	-----------

## AVIS GLOBAL

Le SYRTE occupe un créneau unique en France, en étant spécialisé, pour le compte de l'Observatoire de Paris, sur la métrologie de l'espace (référence céleste et rotation de la Terre) et du temps (étalonnage de la seconde, construction du temps français et international). Il s'implique aussi dans des activités dérivées (missions spatiales de physique fondamentale, capteurs inertiels) et dans l'histoire de l'astronomie. Ses contributions sont très visibles au niveau international. Plusieurs articles récents sont déjà très cités.

Le pôle Espace (équipes RTGS, SRC et une partie de TM) a une activité essentiellement numérique et analytique. Il a fortement participé à l'intégration réussie de l'astrométrie de la mission Global Astrometric Interferometer for Astrophysics (Gaia) de l'Esa (en optique) au système de référence céleste traditionnel (en radio Very long baseline interferometry – VLBI). L'implication dans la mission spatiale Laser Interferometer Space Antenna (LISA) pour les ondes gravitationnelles est une autre réussite. Le développement de liens avec les sciences de la Terre est intéressant. La fusion avec l'IMCCE pour former le « Labo #1 » de l'Observatoire de Paris est une opportunité pour ces petites équipes.

Le pôle Temps-Fréquence et Capteurs Inertiels (équipes FOP, RefMET, IACI et l'autre partie de TM) a une forte dominante instrumentale. Il a beaucoup contribué à deux résolutions très importantes, visant à redéfinir le temps universel coordonné (UTC) de manière continue et la seconde sur la base de fréquences optiques, cette transition constituant le défi des prochaines années. La technique de transfert de signaux temporels par fibre optique sur des centaines de kilomètres (REFIMEVE) est une autre réalisation majeure récente, qui semble s'imposer au niveau européen. Ce pôle a de nombreux liens avec les industriels, consolidés par la fédération de recherches FIRST-TF, et des ressources propres variées. Le plan quantique donne un coup d'accélérateur aux applications pour les capteurs inertiels. Une nouvelle start-up a été créée.

Le pôle Histoire (équipe HSA) est spécialisé dans l'étude et la philologie des textes. Son projet phare des dernières années (la numérisation de tables anciennes et ses applications), soutenu par plusieurs financements (ERC, PSL), a déjà conduit à des résultats intéressants et possède encore un beau potentiel.

Les pôles techniques lui donnent la flexibilité nécessaire à ses développements instrumentaux en perpétuelle évolution, particulièrement en ce qui concerne les techniques du vide. Le service informatique fonctionne bien, mais l'administration a été perturbée par plusieurs absences.

Au-delà de ses tutelles, le SYRTE trouve de très importantes ressources propres. Il en redistribue une fraction pour financer les activités qui ne peuvent en bénéficier, afin que tous puissent travailler dans de bonnes conditions. Ses locaux techniques, difficilement extensibles et dans des bâtiments anciens, sont en revanche une limitation permanente.

Le personnel chercheur (C) et enseignant-chercheur (EC) est stable, mais le nombre de PAR est en lente diminution, ce qui est un risque à terme. La parité est très loin d'être atteinte, avec seulement 10 % de femmes parmi le personnel permanent.

Les trois pôles du SYRTE ont déjà des activités scientifiques assez différentes, ce qui fait que la cohésion du laboratoire sera un point de vigilance pour le futur « Labo #1 ». La communication interne actuelle ne semble pas suffisante pour créer un vrai collectif.

Les chercheurs et enseignants-chercheurs sont très impliqués dans les instances internationales et nationales. Leur engagement pour la diffusion des connaissances est aussi remarquable.

# ÉVALUATION DÉTAILLÉE DE L'UNITÉ

## A - PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Le comité invitait à mieux répartir la formation par la recherche entre les différentes équipes. Ce problème, lié à la grande différence de ressources entre équipes, perdure. Les sujets de thèse entre équipes ont eu peu de succès.

Il invitait à développer la valorisation en nommant une personne chargée de cette activité. Un référent a été identifié mais ne peut s'en occuper qu'à temps partiel. Les services valorisation du CNRS et de l'Observatoire de Paris, en sous-effectif chronique, sont le principal facteur limitant.

Il encourageait à continuer de regrouper des équipes. Les équipes SRC et RTGS ont fusionné début 2023 pour devenir REFAG.

Il encourageait également à dynamiser les échanges entre pôles. Il n'y a pas eu de nouvelle initiative dans ce sens. Bien sûr, l'épidémie de covid n'a pas aidé.

Il recommandait de veiller à la préservation de l'équilibre des ressources humaines PAR entre projets et services communs. La réponse porte uniquement sur les recrutements (remplacements, essentiellement dans les services communs). La recommandation était pourtant plus générale, portant surtout sur le personnel en place.

Enfin, il recommandait de prolonger le labex FIRST-TF. Il a été renouvelé jusqu'à fin 2024.

## B - DOMAINES D'ÉVALUATION

### DOMAINE 1 : PROFIL, RESSOURCES ET ORGANISATION DE L'UNITÉ

#### Appréciation sur les objectifs scientifiques de l'unité

Le SYRTE a un objectif principal très clair qui est d'améliorer les systèmes de référence temps et espace actuels. Cet objectif se décline en de multiples branches, dont chacune est féconde et peut conduire à des objectifs secondaires, que ce soit en physique fondamentale, en géophysique, ou en physique atomique. Le pôle TFCI s'appuie sur des expériences de pointe qui trouvent aussi des applications diverses. Chacun des trois pôles progresse bien, mais la synergie entre les trois n'apparaît pas vraiment.

#### Appréciation sur les ressources de l'unité

Globalement, les ressources financières du SYRTE sont suffisantes pour développer les projets du laboratoire. Elles leur permettent de financer les expériences, des étudiants et du personnel temporaire scientifique ou technique. Elles sont variées, et n'évoluent pas trop dans le temps. Le personnel est très compétent et dynamique. Les locaux en général, et les locaux techniques en particulier, sont la limitation principale de leurs activités. La réduction progressive du nombre de PAR est inquiétante.

#### Appréciation sur le fonctionnement de l'unité

Le SYRTE décline localement les règles de fonctionnement de l'Observatoire de Paris et du CNRS. C'est un petit laboratoire dont le fonctionnement n'est pas formalisé, ni pour les orientations scientifiques (pas de conseil scientifique) ni pour la gestion des PAR (pas de directeur technique jusqu'en 2022). Cela ne semble pas poser de problème important pour l'instant. Le comité regrette que le SYRTE se soit encore éloigné de la parité entre hommes et femmes.

## *1/ L'unité s'est assigné des objectifs scientifiques pertinents.*

### Points forts et possibilités liées au contexte

Le SYRTE peut s'appuyer sur son expérience unique en France dans le domaine des systèmes de référence de l'espace-temps et de la métrologie de haute précision du temps et des fréquences, par la physique atomique, et enfin dans les domaines des lasers stabilisés et de la distribution par fibre optique de signaux métrologiques. Le système de référence spatial a été régénéré par la mission Gaia de l'ESA, à laquelle le SYRTE a largement participé, et qui fournit maintenant le complément optique à l'interférométrie radio à très longue base (VLBI) pour l'International Celestial Reference Frame (ICRF).

La mission Atomic Clocks Ensemble in Space (ACES) de l'ESA devrait enfin être installée sur la station spatiale internationale en 2025. Le SYRTE porte l'horloge PHARAO (projet d'horloge à refroidissement d'atomes en orbite) fournissant la référence temporelle très stable pour cette mission de physique fondamentale.

La mission LISA de l'ESA, dans laquelle le SYRTE a toute sa place, va révolutionner le domaine des ondes gravitationnelles en l'étendant au mHz.

Le Programme et équipement prioritaire de recherche (PEPR) quantique est une opportunité de développement de ses projets, dont le SYRTE a déjà commencé à bénéficier avec le projet QAFCA (capteurs quantiques à atomes froids : mesure du champ de pesanteur à toutes les échelles).

La redéfinition de la seconde, à l'échéance de 2030, sur la base des fréquences optiques, stimule tout le domaine.

Le SYRTE est très bien positionné pour prendre toute sa place dans la redéfinition du temps UTC afin d'en éliminer les secondes intercalaires.

Le programme national GRAM et la fédération FIRST-TF fournissent le cadre adéquat au niveau français pour fédérer les laboratoires impliqués dans cette recherche, et le cadre international est bien défini (EURAMET au niveau européen, le BIPM au niveau mondial).

### Points faibles et risques liés au contexte

Les objectifs scientifiques propres du pôle Espace (au-delà de sa participation aux systèmes de référence terrestre et spatial) ne sont pas très clairs.

Le lien entre les trois pôles scientifiques du SYRTE (Espace, TFCl, et Histoire) est ténu. On observe très peu de publications communes.

Le basculement d'une référence de temps basée sur les fréquences micro-ondes, dans laquelle le SYRTE a montré toute sa valeur, à une référence basée sur les fréquences optiques, dans laquelle la concurrence est rude, va être l'étape cruciale des cinq prochaines années.

## *2/ L'unité dispose de ressources adaptées à son profil d'activités et à son environnement de recherche et les mobilise.*

### Points forts et possibilités liées au contexte

Le SYRTE a des ressources financières suffisantes et régulières, grâce au LNE, qui finance ses activités de service et leurs projets d'amélioration, et à des financements variés. Au niveau local, le SYRTE est soutenu par des actions fédératrices et le programme de postdoctorants de l'Observatoire de Paris, ainsi que le PaRis Artificial Intelligence Research Institute (PRAIRIE) de PSL (équipe HSA). Au niveau régional, les projets du Syrte relèvent de quatre Domaines d'intérêt majeur (DIM). Au niveau national, ses projets spatiaux sont financés par le Cnes, les autres par l'ANR ou des équipex. Ils émargent aussi à de nombreux projets européens et collaborent avec des industriels. Le budget est de 4,1 M€ par an en moyenne (dont 3,7 M€ de ressources propres) pour un effectif d'une centaine de personnes. Cela leur permet de financer leurs développements techniques (un même développement de longue durée s'appuie souvent sur plusieurs financements successifs, du niveau local vers le niveau national puis européen et industriel), mais aussi de financer des thèses, de recruter des postdoctorants et des personnels techniques en CDD. Le prélèvement de 5 % sur les contrats permet au laboratoire de financer les activités résiduelles (stages, jeunes chercheurs, services nationaux d'observation) à hauteur de 150 k€ par an environ. Ces ressources vont même s'accroître avec l'arrivée des financements apportés par les plans quantiques à partir de 2023.

Le personnel est motivé et dynamique, avec une pyramide des âges globale assez équilibrée.

Plusieurs ingénieurs de recherche intégrés dans les équipes scientifiques sont responsables de projets d'envergure et mènent une activité de recherche.

### Points faibles et risques liés au contexte

Les locaux sont un problème récurrent. La place à l'Observatoire de Paris est comptée, et les locaux sont gérés par l'Observatoire. Au cours des six dernières années, une solution a pu être trouvée pour l'équipe HSA qui est maintenant regroupée au sein, du bâtiment Perrault. Mais la pression sur les bureaux reste vive ailleurs, et



l'accueil des stagiaires au printemps pose systématiquement un problème, d'autant plus que la dispersion géographique force à trouver des solutions locales.

Les locaux disponibles pour les expériences ne sont pas extensibles. Les expériences installées en sous-sol du bâtiment Foucault et dans les ateliers sont dans un environnement vétuste, et sont mal isolés. C'est une limite majeure au développement des équipes IACI et FOP. Les retards répétés du lancement de la mission ACES bloquent des locaux pour PHARAO qui ne peuvent pas (et ce pour encore plusieurs années) être redéployés vers d'autres activités.

Les ressources sont fortement variables entre les équipes. De manière générale, le pôle Espace a moins de ressources propres. Bien sûr, il ne mène pas d'activité expérimentale, mais il pourrait proposer d'autres types de projets qui lui permettraient d'avoir plus de doctorants et postdoctorants, et ainsi de se renouveler.

Si rien n'est fait, le labex FIRST-TF va se terminer en 2024, ce qui tarira une importante source de financement du laboratoire.

Comme dans la majorité des laboratoires CNRS, le nombre de PAR est en diminution lente mais régulière (moins 2 personnes sur 27 depuis 2017).

### *3/ Les pratiques de l'unité sont conformes aux règles et aux directives définies par ses tutelles en matière de gestion des ressources humaines, de sécurité, d'environnement, de protocoles éthiques et de protection des données ainsi que du patrimoine scientifique.*

#### Points forts et possibilités liées au contexte

Le SYRTE s'appuie sur son règlement intérieur et a rédigé une brochure spécifique sur le harcèlement.

Un dispositif de prévention des risques psycho-sociaux a été ajouté depuis le confinement.

Deux représentants « égalité » ont été nommés afin de recueillir d'éventuels problèmes. Un référent est disponible au niveau de l'Observatoire pour les doctorants.

Le Syrte suit les recommandations de ses tutelles pour s'assurer de la neutralité de genre des fiches de poste et du processus de sélection.

Le risque laser (principal risque parmi les activités techniques au SYRTE) est pris en compte par un référent spécifique, avec une sensibilisation de chaque entrant (et une formation spécifique pour ceux qui sont directement concernés).

Le Plan de Continuité d'Activité de l'Observatoire de Paris couvre les services critiques du SYRTE (horloges, fontaines atomiques, préservation de l'UTC) qui font l'objet d'astreintes. Le matériel est secouru électriquement. L'Observatoire de Paris a autorisé la reprise d'activités assez vite après les confinements covid, donc ces périodes ont pu être surmontées sans trop de difficultés, en particulier, pour les expérimentateurs et leurs doctorants et postdoctorants ou CDD, qui ne peuvent pas travailler à distance.

Le laboratoire a désigné un correspondant Labo1point5 et a fait un point précis sur les émissions équivalent CO<sub>2</sub> en 2019 (avant la pandémie) pour servir de référence. Les actions éventuelles sont discutées au niveau de l'Observatoire. Les missions ont déjà fortement décliné.

#### Points faibles et risques liés au contexte

La direction du SYRTE ne semble pas s'impliquer suffisamment pour créer une ambiance favorable aux jeunes (doctorants et postdoctorants) et aux femmes, ce qui pourrait être une des causes du manque d'attractivité et de parité dans le laboratoire. Le comité n'a pas entendu parler d'échanges avec les jeunes sur ces questions, ni d'actions de sensibilisation du personnel en place visant à éviter des comportements involontaires non adaptés. L'absence de situations de harcèlement caractérisées ne signifie pas que rien n'est à faire.

Il n'existait pas jusqu'en 2022 de directeur technique. Certains PAR sont intégrés dans des équipes scientifiques, ce qui peut se comprendre au jour le jour, mais ne facilite pas la mobilité et les échanges, et peut créer des inégalités lors des occasions de promotion.

L'absence de deux gestionnaires pendant une partie de la période (à nouveau fin 2023) a nui au bon fonctionnement de l'unité.

Hormis le cas particulier de l'horloge parlante qui va être intégrée à l'ensemble d'instruments anciens de l'Observatoire, le SYRTE n'a pas mis en place de gestion de son patrimoine. Lorsqu'une expérience est arrêtée, le matériel est recyclé dans les suivantes.

Comme dans les autres unités de recherche, l'empreinte carbone est dominée par les achats. Il n'est donc pas facile de la réduire significativement sans impacter directement les activités.

## DOMAINE 2 : ATTRACTIVITÉ

### Appréciation sur l'attractivité de l'unité

Le SYRTE est un laboratoire très reconnu dans son domaine, au premier rang en France par l'étendue de sa palette pour les systèmes de référence et comparable aux meilleurs laboratoires allemands, japonais ou américains. Ses équipements sont à l'état de l'art. Plusieurs individualités de premier plan en font partie. Les nouveaux chercheurs sont aidés au début, les étudiants sont globalement bien accueillis et les postdoctorants trouvent du travail après leur départ. En revanche, attirer de nouveaux PAR et les garder est difficile en raison du coût de la vie parisienne et de salaires plus attractifs dans le privé. Les activités de service sont moins attractives pour les jeunes que les recherches plus dynamiques menées dans les équipes TM, FOP, IACI ou HSA.

- 1/ L'unité est attractive par son rayonnement scientifique et s'insère dans l'espace européen de la recherche.*
- 2/ L'unité est attractive par la qualité de sa politique d'accompagnement des personnels.*
- 3/ L'unité est attractive par la reconnaissance de ses succès à des appels à projets compétitifs.*
- 4/ L'unité est attractive par la qualité de ses équipements et de ses compétences techniques.*

### Points forts et possibilités liées au contexte pour les quatre références ci-dessus

Le SYRTE est très bien intégré dans les organisations internationales de systèmes de référence, avec de nombreuses responsabilités à l'Union Astronomique Internationale (UAI, président de commission), l'International Telecommunications Union (ITU, président d'un groupe de travail), l'International Association of Geodesy (IAG, co-président d'un groupe de travail), au BIPM (co-président d'un groupe de travail et membre du groupe stratégique sur la redéfinition de la seconde). Cette reconnaissance se traduit aussi au niveau européen à l'European Association of National Metrology Institutes (EURAMET), l'Esa et par des invitations abondantes à des conférences internationales.

Le SYRTE a organisé à Paris en 2019 les « Journées des Systèmes de référence spatio-temporels » et surtout l'édition 2022 de la conférence jointe European Frequency and Time Forum (EFTF) et International Frequency Control Symposium (IFCS). Ses membres ont participé à l'organisation scientifique de nombreuses autres conférences (en particulier l'équipe HSA).

Un chercheur du SYRTE a su fédérer la communauté européenne de physique fondamentale pour proposer à l'Esa la mission STE-QUEST de test amélioré du principe d'équivalence (même si elle n'a pas été retenue pour l'appel M7 de l'Esa).

Les chercheurs du SYRTE ont reçu quatre prix internationaux dont le « European Frequency and Time Award » de l'EFTF, huit prix nationaux, dont la médaille de l'innovation du CNRS en 2020, et obtenu une position à l'Institut Universitaire de France (IUF). Ses étudiants ont aussi été primés, dont le prix de la meilleure thèse 2020 de la division Fundamental astronomy de l'UAI.

Les postdoctorants sont intégrés en donnant un séminaire sur leurs activités précédentes. Leur devenir après le contrat postdoctoral est bon.

Les doctorants interviennent tous lors des journées du SYRTE (tous les deux ans). 95 % des 60 doctorants des six dernières années ont terminé leur thèse.

Une attention particulière est apportée aux nouveaux personnels permanents (4 chercheurs, 2 enseignants-chercheurs, 4 PAR). Les C et EC présentent leur activité à l'occasion de l'assemblée générale annuelle, organisent les journées du SYRTE (excellent moyen de savoir ce que font les autres équipes). Les employeurs apportent aussi un soutien (prime, décharge d'enseignement).

Les C et EC du SYRTE ont obtenu deux contrats ERC Consolidator (HSA et FOP) et neuf nouveaux financements de l'ANR (7 IACI et 2 FOP) en qualité de porteur principal. On note également une quinzaine de financements par la région Île-de-France (DIM) et le financement équipex de l'infrastructure REFIMEVE (avec le LPL).

Le SYRTE opère en continu trois fontaines atomiques (Cs et Rb) et des horloges commerciales (jet Cs, maser à H) participant directement à la définition de la seconde et contribue de façon significative (40 %) à la réalisation du Temps Atomique International (TAI) et de l'UTC. Il possède tous les moyens permettant de comparer les horloges entre elles et par satellite avec les autres pays. Le SYRTE développe également la future génération d'horloges optiques (Sr et Hg) comparées à distance par fibre optique. Sur le site du LNE à Trappes, le SYRTE dispose de plusieurs appareils de mesure de gravité relative ou absolue.

### Points faibles et risques liés au contexte pour les quatre références ci-dessus

Le coût de la vie à Paris est un point faible de tous les laboratoires parisiens, en particulier, pour les PAR qui peuvent souvent trouver de meilleurs salaires en dehors de la recherche. Ceci se traduit par une difficulté à recruter et retenir le personnel, très visible au service administratif, mais aussi en électronique et informatique.

La rémunération des astreintes ne peut se faire directement à l'Observatoire de Paris, contrairement au CNRS. Il semble néanmoins qu'une solution ait été trouvée, passant par la récupération du temps de travail.

La fraction de femmes parmi le personnel permanent a encore baissé, passant de 3/31 et 6/27 (respectivement pour les C et EC, et les PAR) en 2017 à 3/32 et 4/25 en 2022. L'arrivée de deux femmes parmi six nouveaux chercheurs (ce qui en soi est plutôt bien) a tout juste permis de maintenir le nombre de C et EC femmes. Il ne reste plus aucune femme PAR en dehors de l'administration. La faible fraction et la tendance négative sont tout à fait anormales. La fraction de femmes parmi les personnels en CDD et les postdoctorants est supérieure à 20 %, elle est de 16 % parmi les doctorants, donc des possibilités doivent exister.

Attirer de bons doctorants et postdoctorants, qui est la clé du renouvellement du personnel permanent, est une limitation dans un contexte de compétition avec d'autres domaines de physique et d'astrophysique. La vie communautaire des doctorants et des postdoctorants ne semble pas très développée, et ils n'ont qu'un représentant (commun aux doctorants et postdoctorants) au conseil de laboratoire. Le SYRTE n'organise pas non plus de journées annuelles des doctorants, qui pourraient être une opportunité d'échanges.

Le comité de suivi des doctorants ne comporte pas systématiquement une personne extérieure au laboratoire. C'est regrettable car un doctorant confronté à une difficulté peut parfois plus facilement s'en ouvrir à un extérieur, en particulier si c'est quelqu'un qu'il connaît (comme un enseignant de master).

Le caractère très interdisciplinaire du SYRTE est une difficulté pour la cohésion du laboratoire. Cette cohésion est rendue encore plus difficile par le fait que les trois pôles sont dans des bâtiments différents.

Ce même caractère interdisciplinaire peut être une difficulté de recrutement pour des jeunes qui ne voient pas s'afficher une activité majeure, ni en physique atomique ou métrologie, ni en astronomie.

Le caractère opérationnel des activités de service des équipes RTGS, SRC et RefMET peut être une autre difficulté pour attirer des jeunes qui préfèrent un cadre plus fondamental.

## DOMAINE 3 : PRODUCTION SCIENTIFIQUE

### Appréciation sur la production scientifique de l'unité

La production première du SYRTE est sa contribution majeure et permanente aux systèmes de référence temps et espace. Les publications du SYRTE sont très diverses en raison de l'interdisciplinarité du laboratoire. Elles ne sont pas particulièrement nombreuses, mais elles sont de très grande qualité, originales et respectent les principes d'intégrité scientifique, d'éthique et d'ouverture. Elles reflètent ainsi le cœur de leur activité, qui demande la rigueur plutôt que la rapidité.

Les doctorants et les postdoctorants publient bien. Tous les C/EC publient, certains beaucoup.

*1/ La production scientifique de l'unité satisfait à des critères de qualité.*

*2/ La production scientifique de l'unité est proportionnée à son potentiel de recherche et correctement répartie entre ses personnels.*

*3/ La production scientifique de l'unité respecte les principes de l'intégrité scientifique, de l'éthique et de la science ouverte. Elle est conforme aux directives applicables dans ce domaine.*

### Points forts et possibilités liées au contexte pour les trois références ci-dessus

Le SYRTE publie dans des journaux très variés en raison de son caractère interdisciplinaire. Ce sont des journaux généralistes comme *Physical Review Letters*, ou de référence dans un domaine particulier comme *Astronomy and Astrophysics*, ou spécialisés pour les équipes expérimentales comme *Applied Physics Letters*. Ces articles sont systématiquement revus par le journal, et en amont pour ceux qui émanent de grosses collaborations. L'équipe HSA s'illustre également par la publication d'ouvrages (entièrement ou un chapitre).

Le taux de publication au SYRTE est légèrement supérieur à un article par an et par chercheur (y compris doctorants et postdoctorants). Beaucoup de ces publications sont avec peu d'auteurs et le domaine, très expérimental, se prête difficilement à multiplier les publications qui doivent être soigneusement vérifiées. On note aussi que le premier auteur de près de la moitié de ces publications vient du SYRTE. Il s'agit donc de résultats vraiment obtenus au sein de l'unité. Les équipes SRC et RTGS se distinguent dans leurs pratiques, avec beaucoup plus de publications mais avec beaucoup d'auteurs non-SYRTE.

En dehors de certains émérites, tous ont publié au moins deux articles au cours de la période considérée (certains jusqu'à 40). 18 chercheurs sont titulaires de l'Habilitation à diriger des recherches (HDR). 33 étudiants ont soutenu leur thèse pendant la période, soit un docteur par chercheur en moyenne. Moins de 10 % ont abandonné et les autres ont publié en moyenne plusieurs articles chacun (sauf dans l'équipe HSA).

Parmi les articles phares très cités, on note bien sûr les articles de base de Gaïa, mais aussi beaucoup d'articles à premier auteur ou avec une très forte contribution SYRTE, provenant de toutes les équipes, à l'exception de HSA dont la communauté ne conduit pas à autant de citations.

Les publications en collaboration entre les équipes SRC et RTGS d'une part, et entre les équipes TM, RefMET et FOP d'autre part, dont les activités sont apparentées et complémentaires, sont nombreuses.

Toutes les données de référence dont le SYRTE a la responsabilité (systèmes célestes, rotation de la Terre, UTC) sont par essence publiques. Pour le reste, un référent « science ouverte » existe, qui assure le contact avec les tutelles et diffuse les bonnes pratiques, en particulier pour les données et logiciels.

Les données d'expériences brutes ne sont pas en libre accès mais sont systématiquement archivées et documentées, et disponibles sur demande. Le meilleur garant de l'intégrité scientifique reste la reproductibilité des expériences, systématique dans ce domaine.

#### Points faibles et risques liés au contexte pour les trois références ci-dessus

Le nombre de publications par chercheur du pôle TFCI pourrait être plus élevé. Il ne reflète pas bien son dynamisme.

La dispersion entre les personnes est considérable. Certains publient assez peu, mais cela reflète en grande partie le rôle différent de chacun.

Les articles collaboratifs entre pôles sont rares.

## DOMAINE 4 : INSCRIPTION DES ACTIVITÉS DE RECHERCHE DANS LA SOCIÉTÉ

### Appréciation sur l'inscription des activités de recherche de l'unité dans la société

Le SYRTE est associé par contrat à de nombreux industriels pour ses activités temps-fréquence et pour celles sur les capteurs inertiels. Leurs développements trouvent des débouchés. Les activités de valorisation sont importantes mais limitées par les capacités de traitement de l'Observatoire de Paris et de la délégation régionale du CNRS.

Les travaux de l'unité sont utiles pour établir des diagnostics climatiques et géophysiques.

Le personnel est très actif dans le domaine de la diffusion des connaissances.

- 1/ L'unité se distingue par la qualité et la quantité de ses interactions avec le monde non-académique.*
- 2/ L'unité développe des produits à destination du monde culturel, économique et social.*
- 3/ L'unité partage ses connaissances avec le grand public et intervient dans des débats de société.*

#### Points forts et possibilités liées au contexte pour les trois références ci-dessus

Le pôle TFCl est très engagé dans le monde socio-économique. Il a des contrats coopératifs avec de nombreux partenaires, PME dédiées au temps-fréquence et multinationales de l'espace et de la défense (Thalès, Airbus, Safran). Ces contrats portent essentiellement sur les horloges compactes, la transmission de temps et fréquence par fibre optique, la stabilisation des lasers et les capteurs inertiels. Ils proviennent le plus souvent de la fédération (et le labex) FIRST-TF qui associe les laboratoires de recherche et les industriels, et du plan quantique qui favorise leur coopération. Trois thèses sur convention Cifre ont été encadrées pendant la période, et un membre du SYRTE a co-fondé une start-up. Six brevets ont été déposés et ces innovations sont progressivement transférées aux industriels.

Le SYRTE (en premier lieu l'équipe RefMET) effectue un certain nombre de prestations de service pour les industriels, principalement pour l'étalonnage temps-fréquence et la navigation par satellite par le European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS). Quelques membres du laboratoire fournissent également du conseil.

Le système de référence terrestre pour lequel l'équipe RTGS fournit les paramètres de rotation, et les capteurs de gravité développés dans l'équipe IACI, sont importants pour la mesure de la surface des eaux par satellite (réchauffement global) et des applications géophysiques.

Les références de temps sont diffusées à tous y compris le grand public (par radio et Internet). Le système de référence terrestre également. Cette fourniture est utilisée pour une multitude d'applications.

Le laboratoire est également très engagé dans la diffusion de ses activités au grand public, à travers les axes porteurs que sont la notion de temps, les applications du quantique et l'évolution du système Terre. Cette activité se déploie dans les revues, les médias (principalement culturels), internet et la participation à des événements de diffusion des connaissances. La participation majeure de deux membres du SYRTE au long métrage « La fabrique du temps » (diffusé sur France 5) est particulièrement remarquable.

### Points faibles et risques liés au contexte pour les trois références ci-dessus

Le meilleur équilibre entre les activités de recherche et la valorisation est difficile à trouver.

Les services de soutien au dépôt de brevets au CNRS (DR5) ou à l'Observatoire de Paris ne sont pas assez réactifs. Des retards de traitement pénalisent aussi l'établissement des contrats industriels.

## ANALYSE DE LA TRAJECTOIRE DE L'UNITÉ

Le SYRTE va fusionner avec l'IMCCE début 2025 dans un nouveau laboratoire de l'Observatoire de Paris (temporairement désigné comme « Labo #1 »). Les trois équipes de l'IMCCE vont former avec REFAG (issue de la fusion de RTGS et SRC) le nouveau pôle « Espace ». Les thématiques de REFAG et des équipes de l'IMCCE sont assez distinctes, donc une restructuration scientifique plus avancée n'est pas à l'ordre du jour. La conséquence principale de la fusion sera que l'axe thématique astronomie-astrophysique va prendre un poids bien plus grand en termes de personnel. Le contraste actuel en termes de ressources propres va néanmoins perdurer, le pôle TFCI étant beaucoup plus proche d'applications industrielles. Ceci pourrait être source de tensions, auxquelles la future direction devra être attentive. La difficulté immédiate sera la fusion des services communs administratif et informatique. Un directeur technique a été nommé, ce qui devrait améliorer le fonctionnement.

La trajectoire des équipes du SYRTE actuel est bien dessinée par des projets ou des évolutions déjà actés. La mission ACES devrait être installée sur la station spatiale début 2025, et le SYRTE a la responsabilité du fonctionnement de l'horloge principale de bord PHARAO. Après une attente de 10 ans, ce sera le couronnement d'une implication très importante dans une mission spatiale de physique fondamentale.

La sélection par l'Esa de la mission Galileo innovative space service solution (GENESIS) est une autre opportunité à moyen terme pour le SYRTE. À plus long terme (années 2030), LISA va apporter des perspectives entièrement nouvelles en astrophysique et en physique fondamentale. Le comité apprécie l'engagement du SYRTE dans cette mission. Il note que les aspects concernant l'exploitation de ces missions spatiales reposent sur l'équipe TM, qui est critique en nombre de personnes de ce point de vue.

Pour les équipes RefMET et FOP, le défi est le passage à la définition de la seconde par transition optique. Le SYRTE est bien armé pour cela, mais cela sera un bouleversement important nécessaire pour que le SYRTE reste au premier plan international, avec des ressources et des locaux limités. L'autre voie de recherche qui va se développer est le transport du signal par fibre optique (REFIMEVE), avec des perspectives très bonnes.

Le plan quantique va aussi permettre de financer et de mener à bien les projets en collaboration avec les industriels, en premier lieu les horloges miniaturisées et les capteurs inertiels.

Le paysage général français dans lequel le SYRTE se place (LNE, Cnes, PN GRAM) reste stable. Il en est de même au niveau européen (EURAMET).

La fédération de recherche FIRST-TF offre un excellent cadre de collaboration au niveau français, en particulier avec les industriels. Néanmoins, le financement associé va se réduire drastiquement si le labex s'arrête, coupant un financement collaboratif souple. Cela va impacter négativement le laboratoire.

Le nouveau master quantique de l'université PSL, où plusieurs membres du SYRTE enseignent, devrait faciliter l'arrivée de stagiaires et doctorants au pôle TFCI.

L'équipe HSA a aussi de bonnes perspectives, avec le développement du numérique et de l'intelligence artificielle (IA), et peut continuer à s'appuyer sur le fonds documentaire de l'Observatoire.

Le projet mentionne aussi quelques perspectives de rapprochement entre les trois pôles, mais elles apparaissent encore limitées.



## RECOMMANDATIONS À L'UNITÉ

### *Recommandations concernant le domaine 1 : Profil, ressources et organisation de l'unité*

Après la fusion avec l'IMCCE pour former le « Labo # 1 », le SYRTE ne sera plus une petite unité. La méthode de gouvernance actuelle devra s'adapter à cette situation. En particulier, le comité recommande la constitution d'un comité scientifique consultatif, incluant quelques extérieurs, destiné à discuter des orientations nouvelles du laboratoire et à faire le point régulièrement sur les grands engagements en cours.

Le service administratif est en tension. Pour 2024, le recrutement, qui vient d'être effectué, d'une gestionnaire en CDD est sans doute la solution la plus rapide. Le comité encourage à poursuivre les discussions constructives avec le service administratif de l'IMCCE, dans l'optique d'un service plus gros pour le « Labo # 1 » qui pourra plus facilement absorber les absences et le renouvellement du personnel.

Placer les PAR intégrés dans les équipes scientifiques sous l'autorité hiérarchique de chefs d'équipe C et EC, pour les entretiens annuels et les propositions de promotions, ne semble pas la meilleure solution. Le comité recommande que ce soit plutôt le directeur technique qui joue le rôle de N+1, ce qui pourrait aussi éventuellement favoriser la mobilité de ces personnels.

Le SYRTE possède des équipements emblématiques de la mesure du temps (les fontaines atomiques par exemple) et aussi d'importantes archives. Le comité recommande de réfléchir, en concertation avec l'Observatoire, à la préservation de certains éléments de ce patrimoine scientifique après la fin de leur utilisation active.

Enfin, le comité recommande au SYRTE de poursuivre sa réflexion sur les possibilités de réduire son empreinte carbone.

### *Recommandations concernant le domaine 2 : Attractivité*

Pour assurer la cohésion du futur « Labo # 1 », avec ses deux grands pôles dans des bâtiments distincts, il est crucial de maintenir une communication interne efficace. Les journées du laboratoire seront plus que jamais indispensables, mais le comité recommande aussi l'envoi d'un bulletin mensuel récapitulant les faits marquants et pointant vers des pages web pour plus de détails. Un séminaire hebdomadaire alterné entre les pôles, possiblement autour d'un café communautaire, favoriserait aussi les échanges.

La faible présence féminine a tendance à s'auto-entretenir. Elle semble difficile à corriger sans un engagement résolu de la direction. Le comité recommande au minimum d'améliorer les conditions d'accueil et de travail des femmes au laboratoire, et de promouvoir une image plus ouverte des métiers et activités.

Le suivi des doctorants pourrait être amélioré afin de s'assurer d'un encadrement de qualité. Le comité recommande d'inclure systématiquement un membre extérieur au laboratoire dans les comités de suivi, qui connaît le doctorant si possible, pour une perspective neuve et objective.

Des actions sont suggérées pour enrichir la vie communautaire et les interactions entre doctorants et postdoctorants : désigner des représentants de chaque catégorie qui serviront de point de contact et qui participeront aux conseils de laboratoire, créer des listes de diffusion dédiées, organiser une journée annuelle des thèses et des séminaires entre eux. Ces initiatives visent à renforcer le sentiment d'appartenance et la collaboration au sein du laboratoire.

### *Recommandations concernant le domaine 3 : Production scientifique*

Le comité encourage le SYRTE à préserver ses services régaliens de référence de temps et d'espace, comme il a su le faire jusqu'ici, en particulier dans le contexte de la redéfinition de la seconde sur la base de fréquences optiques.

Le comité encourage le pôle TFCI du SYRTE à publier un peu plus ses résultats intermédiaires, pour augmenter sa visibilité et son attractivité, et ainsi pouvoir recruter plus facilement des postdoctorants.

## *Recommandations concernant le domaine 4 : Inscription des activités de recherche dans la société*

Le comité encourage le SYRTE à poursuivre sa bonne dynamique de collaboration avec les industriels, ainsi que ses efforts pour la diffusion des connaissances.



## ÉVALUATION PAR ÉQUIPE OU PAR THÈME

**Équipe 1 :** Rotation de la Terre et géodésie spatiale

Nom du responsable : M. Christian BIZOUARD

### THÉMATIQUES DE L'ÉQUIPE

L'équipe RTGS (Rotation de la Terre et Géodésie Spatiale) étudie la rotation et la déformation de la Terre. Elle a notamment en charge la détermination des Paramètres de rotation de la Terre (PRT). Ses applications relèvent de l'astronomie fondamentale, de l'astro-géodynamique, avec de plus récentes ouvertures sur les sciences de la Terre, de l'océan et du climat.

### PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Le comité regrette que les éléments de réponses sur la prise en compte des recommandations du précédent rapport n'aient pas été fournies par l'équipe. Les principales recommandations demeurent quant à la parité (mais il est relevé la formation d'une doctorante entre 2020 et 2023), et surtout quant à la fragilité d'un effectif très réduit, actif sur des travaux aux spécificités rares et sur des services fondamentaux et ce, malgré le recrutement récent d'un astronome-adjoint, affecté toutefois à l'équipe TM. Le très faible nombre de doctorants ou postdoctorants accueillis dans cette équipe renforce toujours la difficulté à former, puis à recruter, de futurs collaborateurs à même de contribuer à pérenniser les engagements et les responsabilités sur l'International Earth Rotation and reference systems Service (IERS). L'attractivité de l'équipe reste aussi questionnée, mais elle devrait trouver réponse dans sa trajectoire récente de fusion avec l'équipe SRC, pour former l'équipe REFAG, aux activités centrées sur un continuum de travaux de recherche et de services plus larges et donc potentiellement plus visibles (notamment avec des applications ouvertes aux sciences de la Terre, de l'océan et du climat).

### EFFECTIFS DE L'ÉQUIPE : EN PERSONNES PHYSIQUES AU 31/12/2022

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	2
Maîtres de conférences et assimilés	0
Directeurs de recherche et assimilés	0
Chargés de recherche et assimilés	0
Personnels d'appui à la recherche	2
Sous-total personnels permanents en activité	4
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	1
Personnels d'appui non permanents	0
Post-doctorants	0
Doctorants	1
<b>Sous-total personnels non permanents en activité</b>	<b>1</b>
<b>Total personnels</b>	<b>5</b>

## ÉVALUATION

### Appréciation générale sur l'équipe

L'activité de l'équipe est remarquable sur ses activités de service, demandant un investissement continu pour assurer les engagements et responsabilités liés aux centres de l'IERS et pour maintenir l'équipe, le SYRTE et l'Observatoire de Paris au premier plan mondial des établissements fournissant des paramètres d'utilité incontournable sur divers plans sociétaux.

Avec un effectif recherche très restreint, l'équipe a une production scientifique très satisfaisante, positionnée aussi à l'interface d'autres secteurs porteurs (sciences de la Terre, de l'océan et du climat).

Le comité salue la récente trajectoire de fusion avec l'équipe SRC, pour former à présent l'équipe REFAG, cohérente sur ses activités de recherche regroupant plusieurs services nationaux.

### Points forts et possibilités liées au contexte

L'équipe est responsable de deux centres internationaux de l'IERS qui sont aussi des SNO, dans le cadre de la première Action Nationale d'Observation (ANO-1) du domaine Astronomie-Astrophysique (AA) de l'Insu : l'Earth Orientation Product Centre of the IERS et l'IERS conventions. L'équipe a ainsi la charge de la détermination quotidienne des PRT (par la combinaison de diverses sources de données observationnelles : VLBI, GPS, mesures laser et Doppler). Ces paramètres produits et diffusés par l'équipe sont utilisés dans des contextes académiques, scientifiques (p. ex., Cnes) ou civils, pour la géodésie spatiale, les systèmes de navigation globaux par satellites ainsi que pour des études fondamentales liées, par exemple, à l'évolution du climat. Ce dernier point représente pour l'équipe une ouverture très pertinente sur les sciences de la Terre, et la perspective de collaborations pluridisciplinaires qui pourraient être des vecteurs d'attractivité des jeunes chercheurs.

L'équipe déploie une forte activité de type service à la communauté, et est reconnue internationalement sur une expertise rare voire unique à l'échelle mondiale : l'astro-géodynamique.

Malgré une taille sous-critique de l'effectif recherche (2 astronomes et 2 doctorants pendant la période évaluée), la production scientifique concrétisée en publications de rang A est très satisfaisante avec 21 articles (dont 7 en collaboration avec l'équipe SRC).

Les engagements de l'équipe vis-à-vis du Cnes (fourniture régulière de PRT actualisés) lui assurent des contrats annuels (financements) ainsi qu'un positionnement sur ses projets (TOPEX/Poseidon, Joint Altimetry Satellite Oceanography Network – JASON et Surface Water Ocean Topography – SWOT).

L'équipe RTGS porte aussi des actions d'animation, organisation de conférences dans son domaine, étant ainsi un groupe de référence incontournable pour ses travaux fondamentaux, où son expertise est clairement connue et reconnue internationalement.

### Points faibles et risques liés au contexte

L'équipe, de petite taille, n'a pas bénéficié de recrutement au cours de la période évaluée. Cependant, un recrutement (astronome-adjoint) positionné dans l'équipe transverse TM effectue sa tâche de service sur un SNO porté par l'équipe.

L'équipe a accueilli peu de jeunes chercheurs au cours de la période évaluée (2 doctorants, aucun postdoctorant), ce qui limite les capacités de production scientifique aux permanents, qui étant de statut astronome, sont par ailleurs fortement investis sur leurs activités statutaires.

L'expertise de l'équipe est sur un sujet très ciblé et souffre sans doute d'un potentiel d'attractivité des jeunes chercheurs. Pourtant l'engagement de l'équipe sur les services et centres de l'IERS impose une vision à long terme, et implique une action soutenue en termes de formation (enseignements dédiés, accueil de stages, encadrement de doctorants, de postdoctorants).

### Analyse de la trajectoire de l'équipe

Au cours de la fin de la période évaluée, l'équipe RTGS a fusionné avec l'équipe SRC, regroupant ainsi les activités scientifiques relatives à l'astronomie fondamentale et à la géodésie, ainsi que les services d'observation associés (SNO de l'ANO-1). Cette évolution est jugée très positive. Si l'équipe résultante reste de taille modeste sur son potentiel de recherche (5 astronomes et astronomes-adjoints, 1 doctorant), elle gagne surtout en cohérence autour des études de la rotation et de la déformation de la Terre, et des tests de la physique

fondamentale et de la gravitation basés sur la géodésie spatiale. Elle gagne probablement aussi en efficacité opérationnelle sur ses SNO avec la réalisation des systèmes de référence dans l'espace et le temps.

La prochaine étape sera le rapprochement du SYRTE et de l'IMCCE dans le cadre de la réorganisation de l'Observatoire de Paris (à l'horizon 2025). Cela renforcera encore la dimension « service communautaire » avec l'ajout du service des éphémérides, et donnera une visibilité accrue à un ensemble d'activités fondamentales, rares et précieuses, et de premier plan mondial. Les ouvertures opérées récemment par l'équipe RTGS vers les sciences de la Terre, de l'océan et du climat trouveront probablement une dimension supplémentaire avec la proximité d'experts du système solaire, de paléoclimats, etc.

## RECOMMANDATIONS À L'ÉQUIPE

Le comité recommande que l'effort soit poursuivi, et si possible amplifié, sur l'encadrement et l'accueil de doctorants et postdoctorants. Cela doit passer par des propositions régulières de stages et de thèses émanant des deux chercheurs titulaires d'une HDR. Cela doit aussi être accompagné d'une présence stratégique résolue dans les réponses aux appels d'offre du Cnes, de l'ANR, voire de l'ERC, pour obtenir des financements de contrats doctoraux et postdoctoraux qui viendraient compléter les trop rares contrats doctoraux de l'école doctorale de rattachement (qu'il convient néanmoins de solliciter continûment).

Le comité recommande que l'équipe poursuive et développe davantage les collaborations avec les sciences de la Terre, de l'océan, et du climat. La complémentarité de ces approches doit être présentée dans les enseignements, côté astronomie et côté géosciences. Ces directions sont sans doute à même de drainer des étudiants vers les activités fondamentales et les services de l'équipe, qui restera ainsi en mesure de présenter de bonnes candidatures aux concours de recrutement. Ce dernier point est crucial, l'équipe étant l'une des rares à l'échelle nationale et mondiale à pouvoir alimenter un vivier spécialisé sur des services fondamentaux exigeant une continuité de service.

**Équipe 2 :** Systèmes de référence célestes

Nom du responsable : M. Sébastien LAMBERT

## THÉMATIQUES DE L'ÉQUIPE

L'équipe SRC (Systèmes de référence célestes) mène une activité fondamentale visant à préciser le positionnement astrométrique de haute précision des objets célestes (quasi inertiels ou mobiles). Elle construit et maintient le repère de référence céleste international (ICRF), à partir d'observations radio (VLBI) et optique (Gaia) d'AGN compacts (blazars radio et quasars optiques). Elle s'investit aussi sur l'étude des AGN (astrométrie & photométrie, processus d'émission).

Elle s'implique enfin, en collaboration avec l'équipe TM, sur des tests de la physique fondamentale et de la gravitation, basés sur la géodésie spatiale et les activités qu'elle déploie, par exemple, autour du laser-lune.

## PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Le comité reconnaît les efforts de l'équipe qui a bien pris en compte les précédentes recommandations. Il note très positivement le fait qu'une HDR a été soutenue, que les conditions d'augmentation de la dynamique de recherche ont été recherchées, et qu'un projet (aux objectifs structurants) a été déposé à l'ANR en 2023. La trajectoire de fusion avec l'équipe RTGS, effective en 2023, est aussi saluée.

## EFFECTIFS DE L'ÉQUIPE : EN PERSONNES PHYSIQUES AU 31/12/2022

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	1
Maîtres de conférences et assimilés	2
Directeurs de recherche et assimilés	0
Chargés de recherche et assimilés	0
Personnels d'appui à la recherche	2
Sous-total personnels permanents en activité	5
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	0
Personnels d'appui non permanents	0
Post-doctorants	0
Doctorants	0
<b>Sous-total personnels non permanents en activité</b>	<b>0</b>
<b>Total personnels</b>	<b>5</b>

## ÉVALUATION

### Appréciation générale sur l'équipe

L'engagement de l'équipe est remarquable sur un ensemble de services combinant des observables de haute qualité. L'implication sur Gaia contribue à la visibilité de l'équipe, lui apporte un positionnement stratégique sur des activités spatiales, et un excellent retour scientifique. La très bonne production d'articles (plus de 50) est à rapporter au petit effectif, par ailleurs très investi sur la réalisation de l'ICRF.

L'accueil de jeunes chercheurs reste trop insuffisant au regard des services à assurer et des ouvertures scientifiques qu'ils permettent. L'élargissement des activités de l'équipe aux travaux d'analyse des AGN (photométrie multi-longueur d'onde, processus d'émission, etc.) est prometteur car il constitue probablement un levier d'attraction auprès des étudiants.

## Points forts et possibilités liées au contexte

L'engagement de l'équipe est remarquable sur un ensemble de services orientés sur la définition, le maintien et la diffusion de repères d'espace, combinant des observables de haute qualité. Elle pilote (pour l'Observatoire de Paris) un SNO en responsabilité nationale (ICRS-PC de l'IERS) et contribue à deux autres SNO : le Paris Observatory Geodetic VLBI Center (OPAR) de l'International VLBI Service for Geodesy and Astrometry (IVS de la Nasa, dont le SNO de l'Insu est piloté par l'observatoire aquitain des sciences de l'Univers) et le Lunar Laser Ranging (LLR, piloté par l'observatoire de la Côte d'Azur). Elle participe à la définition de l'ICRF (positionnement astrométrique de très haute précision de centaines de sources extragalactiques) avec des données d'observation radio (VLBI) et, plus récemment, avec les données optiques de Gaia.

L'implication dynamique sur Gaia (suivi et exploitation de la mission par la participation au suivi optique de la sonde – GBOT – et aux publications des catalogues) contribue indéniablement à la visibilité de l'équipe, qui a ainsi gagné un positionnement stratégique sur des activités spatiales (et probablement des sources de financement dédiées). Cela porte aussi à son crédit de nombreuses publications et la prise en compte, dans la construction des systèmes de référence célestes, des données optiques de Gaia, en plus des données radio du VLBI.

L'équipe a aussi des applications scientifiques et déjà des publications sur l'analyse des objets astrophysiques (p. ex., avec TM ou avec le LUTH). Elle a ainsi bien étoffé son réseau de collaborations, aussi à l'international (US Naval Observatory, Université de Nankin).

L'équipe est très dynamique. Elle a porté un projet de télescope robotisé qui, installé à l'Observatoire de Haute Provence, fera, entre autres choses, des relevés systématiques de la photométrie des noyaux actifs de galaxies (AGN). Ces données seront exploitées par l'équipe dans le cadre de l'ICRF et compléteront les données Gaia au-delà de la phase d'opération du satellite.

Avec un effectif recherche très restreint (un astronome et deux astronomes-adjoints), l'équipe SRC présente une production scientifique remarquable, aussi en lien avec l'équipe TM sur l'analyse des objets astrophysiques (AGN) et avec RTGS (géodésie spatiale). 50 publications sont relevées pendant le mandat, beaucoup étant dues à l'investissement sur Gaia, dont 13 cosignées avec des membres de l'équipe TM.

Enfin, l'activité sur la modélisation de la rotation des corps célestes (planètes, astéroïdes, système Terre-Lune) devrait trouver un écho encore plus intense avec le rapprochement avec l'IMCCE.

## Points faibles et risques liés au contexte

L'équipe est de taille sous critique.

Elle semble n'avoir accueilli ni doctorant ni postdoctorant au cours de la période évaluée.

Le nombre de HDR a certes augmenté d'une unité pendant la période évaluée, mais l'accueil de doctorants et postdoctorants reste trop insuffisant, au regard des services à assurer, et des ouvertures scientifiques qu'ils permettent (p. ex., sur la physique des AGN, sur les tests de physique fondamentale).

Cela pourrait dénoter un problème d'attractivité des activités de l'équipe, plus que de la visibilité ou du dynamisme de l'équipe.

## Analyse de la trajectoire de l'équipe

La fusion des équipes RTGS et SRC paraît très pertinente pour redonner une taille raisonnable à un collectif dont les activités restent centrées sur l'astronomie fondamentale et les systèmes de référence, terrestre et célestes. Le gain en cohérence se fait aussi sur la centralisation en un même collectif des activités de service (de l'ANO-1) qui s'intensifiera encore avec la prochaine fusion entre le SYRTE et l'IMCCE.

## RECOMMANDATIONS À L'ÉQUIPE

Le comité recommande que l'équipe augmente au maximum sa capacité d'encadrement de jeunes chercheurs, et que des propositions d'accueil de stages et de thèses, sur les activités en cours, soient déposées régulièrement. L'école doctorale de rattachement doit être sollicitée régulièrement afin d'obtenir un de ses rares contrats doctoraux. L'équipe doit former davantage, et être en mesure de présenter de bonnes candidatures aux concours. Ce dernier point est crucial pour l'équipe SRC, et le reste encore au périmètre de l'équipe REFAG, qui doit pouvoir s'appuyer sur un vivier spécialisé pour conduire – sur un temps long – la mise en opération et l'exploitation scientifique de tous ses services.

Le comité note que l'équipe SRC s'est bien mise en capacité de pouvoir porter des projets et développer de nouvelles collaborations. Elle doit à présent solliciter davantage les diverses sources de financement, en étant présente sur les appels d'offres de l'Insu, du Cnes, de l'ANR, voire de l'ERC. Cela lui donnerait aussi accès à des sources de financements de contrats doctoraux et postdoctoraux, c'est-à-dire à des possibilités complémentaires aux seuls financements de l'ED.

Le comité recommande que l'équipe poursuive et développe pleinement les ouvertures scientifiques qu'elle a opérées sur l'analyse des objets astrophysiques (exploitation des observations d'AGN), ou sur les tests de la physique fondamentale et de la gravitation (en collaboration avec les équipes TM et RTGS). Ces approches applicatives de l'astrophysique et de la physique sont structurantes (au périmètre du SYRTE) et certainement de bons vecteurs d'attractivité pour les jeunes chercheurs.

**Équipe 3 :** Théorie et métrologie

Nom du responsable : M. Pacôme DELVA

## THÉMATIQUES DE L'ÉQUIPE

L'équipe Théorie et métrologie possède une expertise en modélisation relativiste des données métrologiques et modélisation théorique fine des expériences de mécanique quantique. Elle est impliquée dans la définition, la réalisation et l'exploitation d'expériences visant à effectuer des tests de physique fondamentale ou à étudier les ondes gravitationnelles.

## PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Il était recommandé à l'équipe de se rapprocher du LESIA pour compléter sa capacité à s'impliquer dans des projets spatiaux. L'équipe a bien tissé des liens avec le LESIA mais il est vrai que les projets spatiaux des deux laboratoires sont sur des thématiques de recherche différentes et que TM est surtout impliquée sur la partie exploitation scientifique. La recommandation a donc été suivie autant que possible.

## EFFECTIFS DE L'ÉQUIPE : EN PERSONNES PHYSIQUES AU 31/12/2022

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	2
Maîtres de conférences et assimilés	2
Directeurs de recherche et assimilés	1
Chargés de recherche et assimilés	1
Personnels d'appui à la recherche	1
Sous-total personnels permanents en activité	7
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	0
Personnels d'appui non permanents	0
Post-doctorants	3
Doctorants	5
<b>Sous-total personnels non permanents en activité</b>	<b>8</b>
<b>Total personnels</b>	<b>15</b>

## ÉVALUATION

### Appréciation générale sur l'équipe

L'équipe possède une expertise théorique très forte et est très active, comme le montrent les beaux résultats obtenus grâce à l'exploitation des données des satellites de navigation et de la mission spatiale MICROSatellite à traînée Compensée pour l'Observation du Principe d'Équivalence (MICROSCOPE). Elle continue de s'impliquer dans différents projets spatiaux, ce qui lui offre de belles perspectives de recherche et continue à lui assurer du financement. Elle interagit fortement avec les autres équipes du laboratoire et a une production scientifique remarquable.

## Points forts et possibilités liées au contexte

L'équipe continue d'appliquer son expertise théorique à l'exploitation de différentes expériences sol et spatiales. Ce savoir-faire original lui permet de servir de lien entre les équipes instrumentales du SYRTE et d'être impliquée dans la préparation et l'exploitation de différentes expériences sol et espace. Le lancement prochain, prévu en 2025, de l'expérience ACES à bord de la station spatiale Internationale lui permettra d'effectuer de nouveaux tests de physique fondamentale et notamment de tester des théories alternatives.

En parallèle, l'équipe a développé, grâce notamment à l'arrivée de nouveaux personnels permanents, une expertise sur les ondes gravitationnelles qui lui permet de participer à la préparation de la mission LISA, prochaine mission phare de la discipline, avec la co-responsabilité du développement de la chaîne de traitement des données brutes aux données mises en forme (niveau 1), implication qui va s'étendre aux produits scientifiques (niveau 2) pour maîtriser toute la chaîne d'analyse de données. Là aussi, il est anticipé d'utiliser également les données de LISA dans le cadre de théories alternatives à la relativité générale.

Par ailleurs, l'équipe est très bien reconnue aux niveaux national et international, et participe à de nombreuses instances de pilotage scientifique. Elle sait également obtenir les financements nécessaires à ses recherches. Grâce à ses thématiques et son rayonnement, l'équipe est attractive et sait attirer postdoctorants (9) et doctorants (8 dont un abandon).

## Points faibles et risques liés au contexte

L'équipe ne semble pas avoir de points faibles importants. Son expertise lui permet de s'intéresser à différents sujets et le risque d'éparpillement semble assez mineur dans la mesure où la finalité de ses implications est cohérente. Son implication dans le traitement des données de la mission LISA et dans la mission GENESIS de l'ESA pourrait nécessiter des ressources supérieures à celles actuellement envisagées. Enfin, des retards dans les projets spatiaux dans lesquels elle est impliquée, notamment l'expérience ACES, impacteraient ses projets de recherche.

## Analyse de la trajectoire de l'équipe

La trajectoire suivie ces dernières années a été globalement positive, avec le recrutement de nouveaux personnels permanents et une implication accrue sur la thématique des ondes gravitationnelles. La trajectoire envisagée semble elle aussi très positive avec une recherche centrée sur trois axes, les tests de physique fondamentale, les ondes gravitationnelles, et la géo-chronométrie, en lien avec l'exploitation de ACES et la préparation de LISA et de GENESIS.

## RECOMMANDATIONS À L'ÉQUIPE

L'équipe doit continuer à utiliser son expertise théorique pour tirer le meilleur parti scientifique des expériences du laboratoire et des grands projets de la discipline. Son rôle de liant entre les différentes équipes du SYRTE doit être maintenu, voire étendu, dans l'optique de la fusion avec l'IMCCE. Il faudra veiller à ce que son implication dans la préparation des missions spatiales soit en adéquation avec les ressources dont elle dispose.



**Équipe 4 :** Métrologie des fréquences optiques

Nom du responsable : M. Sébastien BIZE

## THÉMATIQUES DE L'ÉQUIPE

Les thématiques de l'équipe sont la génération et la dissémination de signaux optiques et leurs applications. Cela inclut des recherches liées aux étalons de fréquence basés sur des transitions optiques utilisant des atomes refroidis par laser (Sr, Hg, Yb) de très grande exactitude et stabilité de fréquence. Ceci implique le développement des signaux optiques nécessaires à obtenir les meilleures performances pour ces étalons. Parallèlement, un travail important sur les signaux dédiés à la comparaison de ces horloges est mené. Ces activités impliquent le développement de lasers ultra-stables, de peignes de fréquence optique, de génération de signaux micro-ondes, et de la dissémination de signaux optiques ultra-stables sur de grandes distances par fibres optiques ou en espace libre.

## PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Le rapport notait que le potentiel de valorisation est encore sous-exploité. L'équipe FOP a une activité de valorisation significative décrite dans les impacts économiques et sociétaux de l'activité de l'équipe. À l'exception des dépôts de brevet, les actions de valorisation de l'équipe se font dans le cadre des collaborations ou partenariats portés par les membres de l'équipe. Les actions de valorisation autonomes et indépendantes des autres activités ne sont pas compatibles, sauf exceptions, aux engagements déjà très forts dans la recherche et la participation à de nombreux projets nationaux et internationaux.

Le rapport recommandait à l'équipe de ne pas disperser ses forces vives, et aux chercheurs de passer la HDR et de candidater à des postes de directeur de recherche (DR). Dans la période un chercheur CNRS a passé une HDR et est devenu DR. Un autre permanent de l'équipe est en train de passer une HDR, qu'il devrait obtenir fin 2023-début 2024. L'équipe n'a pas explicitement abordé la recommandation de ne pas disperser ses forces vives, mais cette notion demeure pertinente dans un contexte international en constante compétition.

Enfin, le rapport encourageait l'équipe à mettre en œuvre les projets esquissés avec l'objectif de la redéfinition de la seconde. L'équipe est fortement engagée sur la redéfinition de la seconde. De plus cet engagement va se poursuivre dans la période à venir en collaboration étroite avec l'équipe RefMET.

## EFFECTIFS DE L'ÉQUIPE : EN PERSONNES PHYSIQUES AU 31/12/2022

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	0
Maîtres de conférences et assimilés	1
Directeurs de recherche et assimilés	1
Chargés de recherche et assimilés	2
Personnels d'appui à la recherche	3
Sous-total personnels permanents en activité	7
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	0
Personnels d'appui non permanents	1
Post-doctorants	3
Doctorants	6
<b>Sous-total personnels non permanents en activité</b>	<b>10</b>
<b>Total personnels</b>	<b>17</b>

## ÉVALUATION

## Appréciation générale sur l'équipe

L'équipe se caractérise par un large champ thématique de recherche avec un fort dynamisme et une visibilité internationale importante. L'équipe est capable d'engranger des ressources conséquentes avec un fort succès dans les appels à projets nationaux et internationaux. La production scientifique est significative et de très haut niveau. L'équipe est impliquée dans de nombreuses instances nationales et internationales et très engagée dans des projets importants, structurants et à fort impact. Le nombre faible de permanents menace cette forte dynamique ainsi que la difficulté à recruter des postdoctorants.

### Points forts et possibilités liées au contexte

L'équipe présente de nombreux atouts. Tout d'abord, elle se distingue par son dynamisme remarquable, avec une multitude de projets de grande envergure centrés sur les horloges optiques (comme l'ANR ROYMAGE et l'ERC AdOC) et les liens optiques ultra-stables (autour de REFIMEVE), qui ont une portée significative dans la communauté métrologique internationale.

En ce qui concerne les ressources financières, l'équipe dispose de moyens considérables parfaitement adaptés à ses objectifs scientifiques. En 2022, le budget s'est élevé à 1,9 million d'euros. Au cours de la période de référence, l'équipe a également réussi à former 12 doctorants (plus 5 en cours) et à attirer 16 postdoctorants.

La production scientifique de l'équipe est importante, avec un nombre significatif de publications par membre permanent. Environ 55 articles ont été publiés dans des revues à forte visibilité, témoignant ainsi de la qualité des travaux menés. Les compétences scientifiques des membres de l'équipe ont été consacrées par de prestigieux prix nationaux et internationaux, notamment l'European Frequency and Time Forum Young Scientist Award en 2019, le European Frequency and Time Award en 2022, ainsi que le prix LNE de la Recherche en 2022. Il est essentiel de souligner l'engagement des membres de l'équipe au sein de nombreuses instances internationales qui jouent un rôle clé dans le domaine de la métrologie. Cela se manifeste notamment à travers les différentes fonctions de représentants de la France ou d'experts français au sein des Comités consultatifs du temps et des fréquences (CCTF), ainsi que dans le domaine de la longueur et des unités.

L'implication de l'équipe se traduit également par sa participation active aux comités scientifiques majeurs du domaine métrologique, ainsi que par l'organisation d'une conférence internationale d'envergure, le Joint EFTF&IFCS, qui s'est tenue à la Cité des Sciences de Paris en 2022.

### Points faibles et risques liés au contexte

L'équipe FOP est de taille sous critique par rapport aux enjeux d'envergure qui caractérisent cette équipe et au large éventail de ses activités. Le recrutement de deux ou trois chargés de recherche ou assimilés ou personnels d'appui à la recherche est plus que nécessaire.

La problématique du manque d'espace et des locaux pas toujours adaptés est à prendre en compte dans les faiblesses de l'équipe. De plus, les difficultés en matière de recrutement, en particulier de postdoctorants, risquent d'affaiblir ses objectifs ambitieux. Le nombre d'activités significatives est témoin, à la fois, de la richesse de l'équipe, mais aussi du risque de dispersion des ressources humaines et matérielles.

Le contexte international est hyper compétitif et foisonnant d'approches (nucléaires, moléculaires, ions, etc.) alternatives aux horloges optiques et avec des techniques quantiques de plus en plus poussées. L'équipe FOP risque d'en être absente par manque de ressources humaines et financières, et d'être dépassée si elle ne fait pas les bons choix.

### Analyse de la trajectoire de l'équipe

La trajectoire passée de l'équipe FOP a été globalement très positive avec un large succès dans l'obtention de crédits, de ressources humaines et des résultats scientifiques de haut niveau. Les enjeux majeurs inscrits dans la trajectoire de l'équipe, en continuité avec le passé, sont la redéfinition de la seconde, les études des liens optiques fibrés ultra-stables, les développements des technologies quantiques.

L'équipe FOP poursuivra le développement des horloges à réseau optique à atomes de strontium et de mercure, ainsi que sur la mise en place d'une horloge transportable à l'ytterbium, un projet initié en 2021. L'objectif visé est d'atteindre des exactitudes (précision relative sur la fréquence) dans la gamme de  $10^{-18}$  dans un contexte international de forte concurrence.

L'équipe va perfectionner les lasers ultrastables grâce à l'amélioration des cavités optiques, dans le but d'atteindre un objectif de 3 à  $5 \cdot 10^{-17}$  en stabilité avec des peignes de fréquence capables d'exploiter cette performance. Ce développement est essentiel pour répondre aux exigences d'exactitude visées pour les horloges optiques. Le développement de laser par stabilisation sur ions de terre rares, plus exploratoire, pour obtenir des stabilités extrêmes (inférieures à  $10^{-17}$ ) est à tester et à exploiter ensuite sur les horloges optiques.

L'équipe sera toujours très fortement engagée dans les liens optiques fibrés, dans son rôle de copilote de l'infrastructure de recherche REFIMEVE et la génération d'un signal optique ultra-stable raccordé aux étalons de fréquence. Cette activité joue un rôle essentiel, avec une visibilité considérable et un impact significatif qui méritent un soutien continu.

L'équipe veut poursuivre sa participation à LISA, consistant à développer et à maintenir les lasers de référence qui seront utilisés pour le test des satellites de la mission LISA, et de garantir un transfert vers l'industrie. Cette volonté sera soumise à la disponibilité d'un personnel dédié.

L'équipe prévoit dans des temps brefs le recrutement d'un ingénieur de recherche dédié à l'infrastructure opérationnelle et d'un chercheur sur l'horloge au mercure. À plus long terme, un deuxième chercheur est envisagé pour renforcer les activités autour de la métrologie quantique et des lasers ultra stables.

La trajectoire de l'équipe FOP est très ambitieuse et repose sur trois hypothèses : la croissance, ou à défaut, le maintien des ressources obtenues auprès de divers organismes de financement (ANR, Europe, LNE, labex, idex, etc.), le recrutement d'un nombre significatif de doctorants et de postdoctorants, et, en fin de compte, l'arrivée rapide d'au moins deux membres permanents, l'un d'entre eux étant déjà acquis. Cela représente un défi majeur, d'autant plus qu'un départ au sein de l'équipe a déjà eu lieu. Si les recrutements devaient être moins nombreux que prévu, il faudra recentrer les activités sur les aspects plus fondamentaux reliés à la définition de la seconde et la dissémination des fréquences optiques.

## RECOMMANDATIONS À L'ÉQUIPE

L'équipe FOP doit poursuivre les développements d'horloges optiques dans la perspective de la redéfinition de la seconde. La dissémination par fibre optique est un élément essentiel de la stratégie de l'équipe avec un impact très significatif aux niveaux national et international et son développement doit continuer.

Parallèlement, il est essentiel de maintenir un équilibre entre les activités exploratoires, telles que la stabilisation laser sur les ions de terres rares, et les activités de transfert et de caractérisation liées à la mission spatiale LISA, en fonction des ressources humaines disponibles.

La trajectoire de l'équipe doit inclure une gestion stratégique des priorités de recherche, en y intégrant une surveillance constante des avancées technologiques, notamment dans le domaine des horloges à ions, nucléaires et moléculaires, ainsi que des méthodes de mesure quantique de pointe.

Le comité recommande également de poursuivre et de renforcer les synergies avec l'équipe RefMET en vue de la redéfinition de la seconde dans le domaine optique.

Concernant l'encadrement de jeunes chercheurs, d'autres membres de l'équipe sont encouragés à passer leur HDR de façon à pouvoir encadrer davantage de doctorants.

**Équipe 5 :** Références micro-ondes et échelles de temps

Nom du responsable : M. Stéphane GUÉRANDEL

## THÉMATIQUES DE L'ÉQUIPE

L'équipe RefMET allie une forte activité de service et des activités de recherche. Sa première mission historique est le maintien et la diffusion d'étalons de fréquence micro-onde basés sur des fontaines à atomes froids. Cette référence de fréquence contribue à la définition de la seconde du système international. Elle permet de piloter notamment l'échelle de temps de référence pour la France UTC(OP), et de contribuer à l'échelle de temps internationale (TAI). L'équipe joue ainsi un rôle clé dans la définition du Temps Atomique International, et du temps légal dont l'Observatoire de Paris a la charge. La diffusion de l'échelle de temps implique également une maîtrise et une amélioration continue des techniques de transfert de temps. Les étalons de fréquence sont également utilisés pour des tests de physique fondamentale, de référence pour les horloges optiques. L'équipe RefMET développe des horloges micro-ondes compactes pour des applications industrielles.

## PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Le précédent rapport anticipait un meilleur équilibre entre les activités de recherche et celles de service suite à la fusion des équipes "Métrologie des fréquences micro-ondes" et "Métrologie du temps". Il y a maintenant une distinction claire entre les travaux faisant l'objet d'activités de service et d'activités de recherche, et une attention à l'équilibre recherche/service dans les activités de l'équipe.

Le précédent rapport soulignait l'importance de la préservation et la transmission des savoirs. L'équipe a maintenu et transmis ses compétences et savoir-faire grâce à des collaborations et partenariats internes au SYRTE et externes.

Le précédent rapport appelait à la vigilance concernant les contraintes imposées par l'exiguïté des locaux. La densité en équipement dans les locaux de l'équipe reste forte mais est considérée par l'équipe comme acceptable et sans impact sur l'activité de service.

Le précédent rapport encourageait l'équipe à préparer et à accompagner la redéfinition de la seconde. Cette recommandation a également été prise en compte. Les activités liant les domaines optiques et micro-ondes continuent de se renforcer, avec une collaboration croissante entre les équipes RefMET et FOP.

## EFFECTIFS DE L'ÉQUIPE : EN PERSONNES PHYSIQUES AU 31/12/2022

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	1
Maîtres de conférences et assimilés	0
Directeurs de recherche et assimilés	0
Chargés de recherche et assimilés	6
Personnels d'appui à la recherche	4
Sous-total personnels permanents en activité	11
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	0
Personnels d'appui non permanents	1
Post-doctorants	0
Doctorants	1
<b>Sous-total personnels non permanents en activité</b>	<b>2</b>
<b>Total personnels</b>	<b>13</b>

## Appréciation générale sur l'équipe

L'équipe « Références micro-ondes et échelles de temps » maintient une forte activité de service pour la génération et la diffusion d'une référence primaire de fréquence et d'échelles de temps nationales, et apporte ainsi une contribution à l'état de l'art au temps atomique international. Elle réussit à allier ces activités opérationnelles à une variété de projets de recherche, généralement collaboratifs, allant d'expériences de physique fondamentale au développement d'horloges compactes pour des applications industrielles.

### Points forts et possibilités liées au contexte

L'équipe a une forte activité de service liée à deux missions historiques du SYRTE dont elle a la charge : générer et diffuser une référence primaire de fréquence afin de contribuer à l'échelle de temps internationale, et piloter et diffuser l'échelle de temps nationale. L'équipe fournit ainsi une contribution très importante au temps atomique international, et réalise le temps légal français. Elle assure la diffusion de l'échelle de temps nationale UTC(OP) par différents moyens.

Elle opère trois fontaines à atomes froids et fournit des étalons de fréquence à l'état de l'art international. Elle utilise également ces fontaines, dont une est mobile, pour diverses expériences de physique fondamentale, et dans sa contribution à la mission spatiale ACES/PHARAO. L'équipe est également active dans le domaine des horloges atomiques compactes pour différentes applications, notamment pour les systèmes de navigation par satellite.

La production scientifique est de très bonne qualité.

Il existe une synergie croissante entre l'équipe RefMET et l'équipe FOP, qui permet de préparer la redéfinition de la seconde.

### Points faibles et risques liés au contexte

L'équilibre entre les activités "opérationnelles" de service et les projets de recherche doit rester un sujet d'attention. La production scientifique est centrée sur des journaux plutôt spécialisés, ce qui explique le peu de publications dans des journaux à fort impact. Les perspectives des ressources humaines de l'équipe sont un point de vigilance. Il y a eu quatre départs pendant la période, et deux arrivées. Il n'y a plus aucun postdoctorant, peu de doctorants, beaucoup de départs en retraite avec en perspective une situation avec peu de seniors et d'HDR. Sur 11 personnels statutaires, la pyramide des âges fait apparaître quatre personnes de 58 ans et plus.

### Analyse de la trajectoire de l'équipe

La trajectoire passée de l'équipe RefMET a été positive avec le maintien de la qualité des missions qui lui sont propres : exploitation et opération des horloges atomiques à fontaine, production et diffusion de la référence de temps UTC (OP), la participation aux comparaisons internationales, participation à l'échelle de temps internationale (TAI/UTC), etc. Les enjeux majeurs de la trajectoire présentée par l'équipe s'inscrivent dans le prolongement des activités actuelles, et portent sur la redéfinition de la seconde, les développements des technologies quantiques, la mission spatiale PHARAO/ACES et les techniques de transfert de temps par satellite de navigation (Global navigation satellite systems – GNSS). Le transfert de temps par lien satellitaire type deux voies sera complété par des méthodes terrestres basées sur la fibre optique au travers de l'infrastructure nationale REFIMEVE. L'équipe RefMET poursuivra le développement d'horloges compactes pour les prochaines générations de satellites européens pour la navigation (GALILEO). Plusieurs axes seront développés en étroite collaboration avec l'équipe FOP.

La trajectoire de l'équipe RefMET est pertinente et ambitieuse, elle s'appuie sur les savoir-faire reconnus de l'équipe. Le pari est assez conséquent au regard des effectifs de l'équipe et de sa pyramide des âges.

## RECOMMANDATIONS À L'ÉQUIPE

L'équipe « Références micro-ondes et échelles de temps » doit poursuivre sa mission historique de maintien d'une référence de fréquence et ses contributions aux échelles de temps nationales et internationales. Dans le même temps, elle doit veiller à préserver un bon équilibre entre les activités opérationnelles et les projets de recherche, équilibre rendu plus difficile par l'évolution des ressources humaines. La trajectoire de l'équipe devra être réfléchi dans ce contexte. Elle pourrait nécessiter une priorisation des directions de recherche. Le rôle de l'équipe dans le développement des technologies quantiques devrait être clarifié.

La baisse des effectifs permanents de l'équipe au cours de la période passée, les perspectives de départs, et le faible nombre de non-permanents, nécessitent un effort particulier pour le recrutement de personnels. Pour favoriser les recrutements de personnels permanents et non-permanents, le comité encourage l'équipe à améliorer son attractivité, par exemple en mettant à jour son site web et en communiquant auprès d'un large public, à la fois au sein de la communauté scientifique et du grand public. Les performances à l'état de l'art de l'équipe et sa contribution très importante au Temps Atomique International pourraient également être un pivot pour une communication plus large de ses activités, et contribuer ainsi à son attractivité.

Le comité recommande de poursuivre le renforcement des synergies avec l'équipe FOP, et de mener une réflexion commune sur les directions de recherche dans la perspective de la redéfinition de la seconde dans le domaine optique.

**Équipe 6 :** Interférométrie Atomique et Capteurs Inertiels

Nom du responsable : M. Franck PEREIRA DOS SANTOS

## THÉMATIQUES DE L'ÉQUIPE

L'équipe se spécialise dans la recherche sur les interféromètres atomiques pour des mesures de précision extrême, développant des capteurs inertiels avancés (gyromètres, gravimètres) pour des applications en géophysique et navigation. Utilisant des atomes froids pour une sensibilité accrue, l'équipe utilise des atomes en chute libre pour des performances supérieures grâce à de longs temps de mesure et des atomes piégés pour des capteurs plus locaux ou plus compacts. Impliquée dans des projets majeurs comme STE-QUEST et l'équipex Matter wave - laser based Interferometer Gravitation Antenna (MIGA), l'équipe est aussi un pilier en métrologie gravimétrique aux niveaux national et international.

## PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Le précédent rapport recommandait la publication plus systématique de résultats expérimentaux avant la publication du résultat final démontrant un instrument métrologique afin d'améliorer la visibilité de l'équipe. L'équipe a maintenu un rythme constant de publications tout en s'engageant dans des projets stratégiques majeurs.

Il était aussi chaudement recommandé une plus grande implication de l'équipe dans l'organisation de conférences et workshops. L'équipe a répondu en prenant une part active dans l'organisation de conférences et d'ateliers internationaux, renforçant ainsi sa visibilité dans la communauté scientifique.

Le comité précédent engageait l'équipe à mener une réflexion collective sur le choix des projets à développer pour optimiser la production scientifique et la pérennité des recherches à long terme. Reconnaisant les défis liés à l'encadrement et à l'exiguïté des locaux, l'équipe a stratégiquement opté pour une collaboration accrue dans des projets interdisciplinaires, ce qui permet d'optimiser les ressources et de stimuler la production scientifique malgré les contraintes matérielles.

Le précédent rapport demandait une réflexion en profondeur de toute l'équipe pour exploiter au mieux ses acquis et assurer le maintien de sa position au tout meilleur niveau international. En réponse, l'équipe a décidé de capitaliser sur ses technologies de capteurs éprouvées pour pousser l'innovation, tout en continuant à se spécialiser dans des domaines techniques où elle excelle déjà.

En conclusion, les recommandations du précédent rapport furent entendues mais concernant la gestion de l'équipe et ses perspectives scientifiques, certains questionnements restent d'actualité.

## EFFECTIFS DE L'ÉQUIPE : EN PERSONNES PHYSIQUES AU 31/12/2022

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	0
Maîtres de conférences et assimilés	1
Directeurs de recherche et assimilés	2
Chargés de recherche et assimilés	3
Personnels d'appui à la recherche	1
<b>Sous-total personnels permanents en activité</b>	<b>7</b>
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	1
Personnels d'appui non permanents	0
Post-doctorants	4
Doctorants	11
<b>Sous-total personnels non permanents en activité</b>	<b>16</b>
<b>Total personnels</b>	<b>23</b>

## ÉVALUATION

### Appréciation générale sur l'équipe

L'équipe excelle en interférométrie atomique, contribuant à des projets majeurs et innovants notamment en capteurs pour la gravimétrie et la navigation. Malgré des financements réguliers, des collaborations académiques et industrielles fructueuses, elle doit relever des défis de ressources humaines, de parité, d'encadrement et d'enseignement. Une réflexion sur son organisation interne, sa collaboration avec les équipes FOP et TM, et le développement de projets futurs est cruciale pour son existence et pour son excellence.

### Points forts et possibilités liées au contexte

L'équipe fournit des services de gravimétrie clés et participe à d'importants projets sur les ondes gravitationnelles et la relativité générale. Ses expériences en gravimétrie et gyrométrie atomiques la positionnent en leader dans son domaine. Elle a, par exemple, développé des gyromètres à atomes froids avec des mesures entrelacées pour une haute sensibilité, effectué des mesures ultraprécises de rotation et de l'effet Sagnac et mesuré des interactions atome-surface avec précision. L'équipe a, par ailleurs, mis en œuvre des concepts quantiques innovants comme la détection de la cohérence quantique de manière non destructive et la génération d'états comprimés durables. Ces résultats marquants ont été publiés dans des journaux de très grande qualité, et exposés dans des conférences internationales. Plusieurs prix ont été obtenus, et la production de thèses est remarquable.

L'équipe est à présent guidée par l'obtention de contrats récents, au travers notamment de contrats européens et de sa participation à l'action dirigée QAFCA (Quantum Cold Atom Sensors: Measurement of the Gravity Field at all scales) du PEPR quantique. L'implication forte dans le réseau sismologique et géodésique français ainsi que la diversité des projets à moyen terme, qu'il s'agisse de capteurs dédiés aux géosciences ou à la navigation inertielle ou encore la création d'un capteur de gravité dual ou de l'exploration de la gyrométrie atomique pour la sismologie rotationnelle, illustre cette dynamique.

Les partenariats étendus et la diversité des financements, incluant des contributions européennes, assurent une stabilité financière et une capacité à mener des projets ambitieux. L'engagement dans des projets d'envergure et la valorisation économique avec la création de startups et de dépôts de brevet (3 sur les 6 du laboratoire) démontrent une capacité à valoriser la recherche et à stimuler l'innovation.

Cette dynamique devrait être renforcée par des collaborations externes fructueuses, par le recrutement récent d'un chercheur ainsi que par l'implication croissante du directeur actuel de l'unité.

### Points faibles et risques liés au contexte

L'équipe IACI fait face à des défis significatifs, notamment en termes de ressources humaines, où le manque de personnel sur certains projets limite l'efficacité et l'idéal de collaboration. L'absence d'une politique de mutualisation des équipements peut entraver la synergie entre les projets. La dépendance marquée aux contrats de recherche pour le financement soulève des inquiétudes quant à la stabilité financière et crée une pression supplémentaire sur la recherche de financements, qui peut se faire au détriment des activités de recherche principales.

La capacité de l'équipe à attirer des postdoctorants est entravée par une forte concurrence du secteur privé et par les répercussions des confinements sur la mobilité. Par ailleurs, une participation limitée dans l'enseignement et un environnement de travail qui ne reflète pas la diversité de genre peuvent restreindre l'accès à un réservoir plus large de talents académiques. Il est essentiel d'améliorer la supervision des doctorantes et doctorants pour renforcer l'attrait de l'équipe.

Sur le plan de la publication, l'équipe est confrontée à la perception incrémentale de ses résultats, ce qui peut limiter la visibilité et l'impact de ses recherches. La difficulté de publier dans des revues de premier plan peut affecter la reconnaissance du travail de l'équipe et de leurs doctorants. Ceci restreint l'influence de l'équipe.



en dehors du cercle purement métrologique alors même que la compétition internationale est intense et nécessiterait une diversification technologique.

Bien qu'il y ait des interactions avec le monde non-académique, l'impact sociétal de la recherche pourrait être amélioré car la diffusion publique et la visibilité médiatique de l'équipe sont limitées. L'équipe, dans sa globalité, semble manquer d'une stratégie claire concernant l'initiation de nouveaux projets ou l'adoption de technologies émergentes, et affiche des collaborations parfois insuffisantes avec d'autres groupes de recherche au sein du laboratoire, ce qui pourrait limiter son potentiel d'innovation.

## Analyse de la trajectoire de l'équipe

L'équipe veut poursuivre une trajectoire stratégique et ambitieuse, propulsée par des initiatives telles que QAFCA du PEPR quantique ou CARIOQA-PMP (*Cold Atom Rubidium Interferometer in Orbit for Quantum Accelerometry – Pathfinder Mission Preparation*). Elle se concentre sur le développement de capteurs avancés pour les géosciences et la navigation inertielle pour consolider son rôle de leader dans la métrologie quantique et les capteurs inertiels. Elle vise à exploiter les compétences interdisciplinaires du laboratoire pour atteindre des objectifs à moyen terme, notamment la création d'un capteur de gravité dual (gravimètre et gradiomètre pour des applications terrestres et spatiales avec des partenaires industriels), l'optimisation du gravimètre atomique pour une précision accrue ainsi que pour des applications embarquées, et l'implication dans des projets spatiaux pour la géodésie. L'équipe explore également des capteurs hybrides compacts multi-axes et multifonctions sur puce à atomes, des capteurs basés sur des atomes chauds en vapeur, développe la gyrométrie atomique pour la sismologie rotationnelle qui est un domaine émergent prometteur, et travaille sur l'infrastructure MIGA en collaboration.

Les progrès sont renforcés par des méthodes de contrôle optimal et de mesure quantiques novatrices, visant à surpasser les limites de bruit standard et à réaliser des mesures non destructives. Les collaborations industrielles s'élargissent avec des acteurs majeurs pour le développement de capteurs de navigation et de technologies photoniques.

Sur le plan des ressources humaines, l'équipe anticipe les défis de recrutement, mais une augmentation de 20 % est cependant prévue. L'équipe s'efforce de maintenir un équilibre entre les départs et les arrivées, tout en prenant en compte les responsabilités croissantes de ses membres.

## RECOMMANDATIONS À L'ÉQUIPE

Le comité recommande à l'équipe IACI d'intensifier ses efforts de publication et de communication pour mieux refléter la qualité de ses résultats et accroître sa visibilité internationale. Il est crucial de développer une présence médiatique, et des initiatives éducatives, plus régulières et plus marquées, notamment sur des sujets d'avant-garde tels que les capteurs quantiques afin d'élargir l'impact sociétal de l'équipe et d'inspirer les jeunes. La valorisation des recherches par un site web actif, des brevets ou la création de startups sont des points positifs qui doivent continuer pour stimuler l'impact économique.

Le comité souligne l'importance de mener une réflexion collective sur la sélection des projets et le développement d'instruments pour optimiser la production scientifique et assurer l'excellence à long terme.

L'équipe doit s'atteler à améliorer la parité entre hommes et femmes et à créer un environnement de travail et un encadrement doctoral de qualité pour favoriser une dynamique positive et assurer ainsi la pérennité de l'équipe.

Ceci, ajouté aux défis des ressources humaines et des espaces de travail, doit obliger l'équipe à consolider sa synergie interne et à approfondir ses collaborations avec les équipes FOP et TM. L'équipe doit se focaliser sur une stratégie globale pour le développement de projets et d'instruments innovants afin de garantir la pérennité de la recherche.

**Équipe 7 :** Histoire des sciences astronomiques

Nom du responsable : M. Christophe SCHMIT

## THÉMATIQUES DE L'ÉQUIPE

L'équipe Histoire des sciences astronomiques, petite mais soutenue par de nombreux chercheurs-associés, poursuit ses travaux philologiques et d'édition critique des textes en histoire des sciences, des techniques et des concepts. Ses approches sont renouvelées en profondeur par les humanités numériques, notamment avec le projet Digital Information System for the History of Astral Sciences (DISHAS). Trois axes structurent ses recherches : l'astronomie médiévale et de la Renaissance avec le projet ALFA (Alfonsine Astronomy, édition de tables astronomiques anciennes) soutenu par l'ERC, la mécanique pré-Lagrange et l'histoire des théories de l'optique et de la relativité. Un axe transversal utilise les ressources de la bibliothèque de l'Observatoire de Paris pour étudier les pratiques d'observation astronomique et météorologique, enrichi par une collaboration avec la NASA sur InSight Mars Lander.

## PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Le rapport recommandait à l'équipe de développer les activités d'enseignement : HSA intervient, conformément à ce qui était projeté, dans le parcours Philosophie de la connaissance, histoire et philosophie des sciences de l'excellent master mention philosophie EHESS/ENS-PSL rattaché à l'EUR-Translitterae créé en 2018. Cet enseignement porte sur l'Histoire des idées en astronomie et en physique. Le séminaire d'histoire de l'astronomie organisé en collaboration avec le Centre François Viète et les Archives Henri-Poincaré fait également partie de cet enseignement.

Plus récemment, HSA s'est engagé dans le master DHAI (Digital Humanities Meet Artificial Intelligence, Program DATA of PSL) (séminaire mensuel, semaine intensive de 30h).

HSA poursuit ses enseignements en histoire des sciences astronomiques au sein de l'ED 127 (astronomie et astrophysique d'Île-de-France, 16 heures) à laquelle elle est rattachée depuis 2016.

En revanche, le cours d'histoire des sciences niveau licence pour l'université Paris 7 n'apparaît plus.

Il était préconisé dans le précédent rapport d'augmenter l'encadrement des doctorants : une thèse est en cours dans le cadre du projet ERC Alfa (soutenance en juin 2024). Deux thèses ont été soutenues. Par ailleurs, HSA a encadré des étudiants de master 2<sup>e</sup> année en histoire des sciences (3), ainsi que des stages de licence (2). Enfin, HSA participe aux comités de sélection des contrats doctoraux et postdoctoraux de l'École universitaire de recherche Translitterae.

La deuxième recommandation était de développer l'axe « Observations, mesures, incertitudes et modèles » qui relie l'équipe aux autres équipes de l'unité : l'équipe a développé des collaborations avec les équipes TM et SRC.

Enfin, le rapport recommandait à l'équipe de dépasser la simple histoire de l'astronomie, et de généraliser cette activité à toute l'histoire des sciences à l'intérieur de Sorbonne Université. Le nom de l'équipe s'est généralisé de « Histoire de l'Astronomie » à « Histoire des Sciences Astronomiques », qui couvre aussi la mécanique céleste, la géodésie, la cartographie et une partie de la physique. Au niveau de Sorbonne Université, HSA collabore avec l'équipe des sciences mathématiques de l'Institut de mathématiques de Jussieu à travers le projet Computer vision and historical analysis of scientific illustration circulation (VHS) financé par l'ANR et le projet Édition numérique collaborative et critique de l'Encyclopédie (ENCCRE).

## EFFECTIFS DE L'ÉQUIPE : EN PERSONNES PHYSIQUES AU 31/12/2022

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	0
Maîtres de conférences et assimilés	1
Directeurs de recherche et assimilés	1
Chargés de recherche et assimilés	2
Personnels d'appui à la recherche	0
Sous-total personnels permanents en activité	4
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	1

Personnels d'appui non permanents	1
Post-doctorants	2
Doctorants	1
<b>Sous-total personnels non permanents en activité</b>	<b>5</b>
<b>Total personnels</b>	<b>9</b>

## ÉVALUATION

### Appréciation générale sur l'équipe

La petite équipe d'histoire de l'astronomie traditionnellement tournée vers la philologie, l'étude et l'édition de textes maintient une bonne dynamique de recherche avec des publications importantes sur l'histoire de l'atmosphère et la philosophie naturelle.

Elle a élargi ses méthodes en direction des humanités numériques et de l'analyse de données avec l'intelligence artificielle. Elle a développé de nouveaux objets de recherche en histoire de l'astronomie médiévale, financés par l'ERC et insérés dans des projets internationaux de haut niveau.

### Points forts et possibilités liées au contexte

Les points forts de l'équipe résident dans une tradition solide d'études philologiques et conceptuelles des textes dont les productions sont de très haut niveau. La modification de la composition de l'équipe n'a pas infléchi ce socle fort de compétences. En revanche, certaines périodes et objets de recherche ont évolué en raison des spécialités des partants et des arrivants.

L'équipe montre une bonne capacité à mobiliser les financements sur projets, notamment autour des humanités numériques et de l'intelligence artificielle (axe 1). Le projet ALFA (2017-2023, Alphonsine Astronomy : Shaping a European Scientific Scene) financé par l'ERC et porté par un membre de l'équipe, est associé aux projets HAMSI (History of Astronomical and Mathematical Sciences in India) et PAL (Project Ptolemaeus Arabus et Latinus). Il vise à réaliser l'inventaire, la collecte et la numérisation de manuscrits, de tables astronomiques et instruments anciens européens. Des collaborations internationales intègrent d'autres aires géographiques, notamment non occidentales (Inde, Chine, Mondes arabe, persan, byzantin). Les technologies numériques innovantes d'analyse de données de la plateforme numérique DISHAS (Digital Information System for the History of Astral Sciences) permettent d'étudier le fonctionnement et les modes de calcul de ces tables.

Les financements obtenus ont permis de recruter deux postdoctorants et deux ingénieurs d'études (PSL Grant « jeunes équipes » pour le projet TAMAS « Tables analysis method for the history of astral sciences » de 2017 à 2019, DIM Humanités numériques de la région Île-de-France pour 200 k€ de 2017 à 2021).

Le taux de publication des chercheurs de l'équipe est important (mais la liste mentionne des travaux de membres associés) : 43 articles et plusieurs ouvrages de grande qualité, comme les deux ouvrages qui constituent des avancées de la recherche sur les domaines peu connus que sont l'histoire des conceptions de l'atmosphère ou la philosophie naturelle mécaniste.

Le renforcement de la capacité à former à la recherche, amorcé au cours du précédent quinquennal, s'est poursuivi avec deux thèses d'histoire des sciences soutenues (2017 et 2020) et, semble-t-il, une à soutenir en novembre 2023.

L'équipe a poursuivi l'organisation d'un séminaire international d'histoire de l'astronomie.

Au sein du SYRTE, elle développe des interactions avec les autres équipes en apportant ses compétences sur l'histoire de la gnomonique pour Insight Mars Lander, et en utilisant l'appui des PAR pour ses propres projets utilisant l'informatique.

Cette équipe partage ses connaissances avec le public, elle a réalisé en collaboration avec le Cnam une reconstitution de la première horloge astronomique européenne, un documentaire (La Fabrique du temps), des émissions de radio.

## Points faibles et risques liés au contexte

La petite taille de l'équipe composée de quatre permanents est évidemment un handicap pour maintenir une dynamique collective. L'organisation en trois axes qui tient compte principalement des orientations individuelles est à cet égard peu favorable.

L'équipe HSA propose d'articuler ses thématiques à celles menées par les autres équipes du laboratoire. Les convergences restent cependant modestes. Elles n'ont pu se traduire par exemple par la participation à un séminaire commun au laboratoire.

L'équipe HSA est impliquée dans des projets collectifs aux échelles nationale et internationale comme ENCCRE ou DISHAS, mais elle est assez peu reliée aux activités de la bibliothèque de l'Observatoire de Paris, dont la mise en valeur des collections a été très dynamique ces dernières années, ainsi qu'aux laboratoires d'histoire des sciences d'Île-de-France.

Le financement sur projet de postdoctorants et d'ingénieurs d'étude autour de l'axe 1 entraîne un taux de rotation important d'une partie de l'équipe et pose la question de la pérennisation des recherches.

L'équipe a permis la soutenance de plusieurs thèses. Cependant, après la dernière soutenance en novembre 2023, elle ne comptera plus aucun doctorant.

## Analyse de la trajectoire de l'équipe

L'Observatoire de Paris produit une archive unique depuis sa création en 1667. L'insertion de l'équipe HSA dans l'UMR SYRTE de l'Observatoire de Paris confère à cette équipe, née autour de l'historien des sciences et des techniques René Taton, son originalité thématique (astronomie) et méthodologique (éditions critiques de textes).

L'équipe est restée petite du point de vue de ses membres permanents, mais soutenue par des chercheurs associés assez nombreux, elle a pu développer des travaux de haut niveau et dans un second temps acquérir une capacité à former à la recherche (soutenance d'une HDR lors du précédent quinquennal et commencement de premiers doctorats dont 3 ont été soutenus).

Le nombre de statutaires est resté constant, mais l'équipe a bénéficié de l'arrivée en mutation d'un directeur de recherche CNRS qui permet de diriger des recherches. Ces recrutements ont permis de renforcer l'histoire des XVIIIe et XIXe siècles (conceptions de l'éther et de l'atmosphère), mais aussi – et très fortement – celle de l'astronomie médiévale, qui est devenue un axe fort inséré dans la recherche internationale, adossé à des dispositifs innovants d'humanités numériques avec intelligence artificielle.

L'axe « Histoire et acteurs de la science et des techniques à l'Observatoire de Paris » est un axe d'histoire sociale transverse aux trois axes chronologiques (Moyen-Âge, période moderne, période contemporaine) de l'équipe. Le renforcement de cet axe, et plus globalement des liens avec les ressources de l'Observatoire de Paris, fait partie des projets de l'équipe.

Le projet s'inscrit dans une grande continuité par rapport à ce qui s'est mis en place. Les axes sont conservés. Deux orientations entendent être développées : les liens avec l'exploitation de ressources de l'Observatoire de Paris, autour notamment des carnets d'observation, et le renforcement de l'expertise en matière d'éditions critiques et d'humanités numériques. Deux projets soutenus par l'ANR vont permettre de poursuivre les recherches et réalisations en ce domaine (VHS – Vision artificielle et analyse historique de la circulation de l'illustration scientifique, et Editer et analyser les diagrammes astronomiques historiques avec l'intelligence artificielle – EIDA 2023-2027). L'objectif est de renforcer la communauté internationale et d'être leader dans la structuration nationale et internationale de ce champ nouveau à l'interface entre humanités numériques et intelligence artificielle. Dans cette perspective, l'équipe est en lien avec le centre AISSAI (Artificial intelligence for Sciences, Sciences for Artificial intelligence) du CNRS.

## RECOMMANDATIONS À L'ÉQUIPE

Le comité recommande à l'équipe, compte tenu du petit nombre de chercheurs statutaires, de nouer des liens avec les laboratoires nationaux d'histoire des sciences et d'histoire des savoirs. Elle devrait s'intégrer mieux aussi à l'intérieur même du SYRTE, avec les autres équipes du laboratoire, par exemple en organisant un séminaire commun. Au-delà, il serait profitable de consolider ses relations avec la bibliothèque et les archives de l'Observatoire de Paris qui devraient constituer une ressource plus centrale soit pour les travaux des chercheurs d'HSA, soit pour des travaux menés avec d'autres, qu'HSA pourrait orienter et coordonner. L'exploitation de ces fonds améliorerait sans doute le rayonnement de l'équipe.

Le comité attire l'attention sur la situation des doctorants qui, sauf exception, ne sont pas rattachés à une école doctorale d'histoire ou de philosophie, mais d'astronomie et astrophysique. Il faudrait réfléchir à ce dispositif qui est une limite à l'attractivité de l'équipe pour des doctorantes et doctorants issus de masters de philosophie ou d'histoire.

## DÉROULEMENT DES ENTRETIENS

### DATES

**Début :** 23 octobre 2023 à 08h00

**Fin :** 24 octobre 2023 à 18h00

**Entretiens réalisés : en présentiel**

### PROGRAMME DES ENTRETIENS

<b>Lundi 23 octobre</b>					
<b>Début</b>	<b>Fin</b>	<b>Intitulé</b>	<b>Intervenants</b>	<b>Participants</b>	<b>Lieu / salle</b>
08:30	08:45	Huis clos comité		Comité seul	salle Danjon
08:45	09:00	Introduction Hcéres + présentation du comité	H. Wozniak	Tous = comité + personnel de l'unité + observateurs	salle Cassini
09:00	10:20	Présentation générale de l'unité (40 min + 40 min) : faits marquants, trajectoire	direction	Tous	
10:20	10:50	Services AG et Info (50% présentation-50% discussions) : focus fait marquant, trajectoire	responsables	Tous	
10:50	11:10	Pause		Tous	
11:10	11:40	Equipes RTGS+SRC (50%-50%) : focus fait marquant, trajectoire	responsable équipe	Tous	
11:40	12:10	Equipe HSA (50%-50%) : focus fait marquant, trajectoire	responsable équipe	Tous	
12:10	12:40	Equipe TM (50%-50%) : focus fait marquant, trajectoire	responsable équipe	Tous	
12:40	13:55	Déjeuner (plateaux repas) + huis-clos comité		Comité seul	salle Danjon
13:55	14:25	Equipe FOP (50% - 50%) : focus fait marquant, trajectoire	responsable équipe	Tous	salle Cassini
14:25	14:55	Equipe RefMET (50%-50%) : focus fait marquant, trajectoire	responsable équipe	Tous	
14:55	15:25	Equipe IACI (50%-50%) : focus fait marquant, trajectoire	responsable équipe	Tous	
15:25	15:55	Pôles Elec et MUTA (50%-50%) : focus fait marquant, trajectoire	responsables	Tous	
15:55	16:15	Pause		Tous	
16:15	18:15	Visite installations remarquables	responsables	Comité + responsables d'installations	Installations
18:15	19:00	Huis clos comité		Comité seul	salle Danjon
<b>Mardi 24 octobre</b>					
<b>Début</b>	<b>Fin</b>	<b>Intitulé</b>	<b>Intervenants</b>	<b>Participants</b>	<b>Lieu</b>
08:30	09:00	Huis clos comité		Comité seul	salle Denisse
09:00	10:00	Huis-clos personnels d'appui à la recherche (ITA, BIATSS...)		Comité + personnels concernés	
10:00	11:00	Huis-clos chercheurs et enseignants-chercheurs permanents		Comité + personnels concernés	
11:00	11:20	Pause			
11:20	11:50	Huis-clos responsables de services		Comité + responsables admin, info, élec R&D, MUTA	

11:50	12:20	Huis-clos postdoctorants		Comité + personnels concernés	
12:20	13:00	Huis-clos doctorants		Comité + personnels concernés	
13:00	14:00	Déjeuner (plateaux repas) + huis clos comité		Comité seul	salle Danjon
14:00	15:00	Huis-clos tutelles		Comité + représentants tutelles	
15:00	16:00	Huis-clos direction		Comité + comité de direction	
16:00		Huis clos comité		Comité seul	
<b>Mercredi 25 octobre (visio)</b>					
<b>Début</b>	<b>Fin</b>	<b>Intitulé</b>	<b>Intervenants</b>	<b>Participants</b>	<b>Lieu</b>
14:00	15:00	Huis clos équipe de préfiguration Labo #1		Comité + équipe de préfiguration labo #1	lien zoom

## POINTS PARTICULIERS À MENTIONNER

Le comité aurait aimé rencontrer des représentants des deux écoles doctorales dont relève le SYRTE (ED 127 et PIF) afin d'échanger sur l'attribution des bourses et le suivi des doctorants.

## OBSERVATIONS GÉNÉRALES DES TUTELLES

**Arnaud TOURIN**

Vice-président recherche, sciences et société

---

+33 1 80 48 59 13  
[arnaud.tourin@psl.eu](mailto:arnaud.tourin@psl.eu)

M. Eric SAINT-AMAN  
Directeur  
Département d'évaluation de la recherche  
HCÉRES

Paris, le 15 janvier 2024

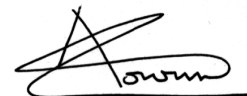
**Référence : DER-PUR250024154 - SYRTE**

Monsieur le Directeur,

Les tutelles de l'unité SYRTE remercient l'ensemble des experts du Comité pour leur travail d'évaluation et leurs recommandations.

Vous trouverez ci-après les observations de portée générale formulées par l'Observatoire de Paris-PSL sur leur rapport.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Directeur, mes salutations distinguées.



Arnaud Tourin



Paris, le 9 janvier 2024

La Présidence

**Objet** : Observations de portée générale - DER-PUR250024154 - SYRTE - **Systèmes de référence temps-espace.**

Référence : PDT/FC/AS  
n° 2024- 06

Madame, Monsieur,

L'Observatoire de Paris PSL et le SYRTE ont pris connaissance du rapport d'évaluation de l'Unité de Recherche SYRTE - Systèmes de référence temps-espace.

Ce rapport a été lu avec attention par la direction de l'unité, le vice-président du Conseil scientifique et par moi-même.

Nous adressons nos remerciements au comité HCERES pour la qualité du rapport.

Néanmoins nous souhaitons faire quelques observations de portée générale.

---

Recherche

---

Formation

---

Culture scientifique

---

- 1) Le rapport évoque un manque de communication interne pour créer une vraie synergie. La réflexion sur l'évolution de la communication interne a été freinée par la mise en place du processus de restructuration de l'Observatoire de Paris. D'une part ce processus a sollicité un investissement important de la direction du laboratoire pour accompagner ses équipes et son personnel dans ce cadre, et d'autre part il a donné lieu à un report de certaines actions, comme la refonte du site web du laboratoire actuel et qui sera nécessaire pour le nouveau laboratoire. Par ailleurs, comme évoqué également dans le rapport du comité, l'épidémie de COVID n'a pas aidé et en particulier une modification de l'organisation du travail pour une partie du personnel suite à celle-ci.
- 2) Le rapport du comité analyse à plusieurs reprises le laboratoire sous la forme de l'interaction entre les trois pôles scientifiques et en particulier souligne le manque de synergie entre ces trois pôles. Il est important de signaler que l'organisation et le fonctionnement du laboratoire sont basés sur les sept équipes scientifiques. Le rapport du laboratoire ainsi que l'organisation de la visite ont donc été naturellement structurés en ce sens. Par ailleurs, les pôles désignent des axes thématiques dont les périmètres ne se superposent pas à des ensembles d'équipes séparées. Les critiques basées sur le manque d'interaction entre les pôles nous semblent donc liées à des incompréhensions lors du processus d'évaluation. On pourra également noter que lors l'analyse globale de l'ensemble des activités scientifiques des équipes de l'Observatoire de Paris en vue de la restructuration de celui-ci, la synergie et la cohérence globale entre ces équipes est apparue comme importante et conduisant à les garder regroupées dans le cadre du futur laboratoire.

- 3) Le rapport indique que « la direction du SYRTE, ou des équipes ne semble pas s'impliquer suffisamment pour créer une ambiance favorable aux jeunes (doctorants et postdoctorants) et aux femmes, ce qui pourrait être une des causes du manque d'attractivité et de parité dans le laboratoire ». Une première remarque porte sur le fait que le laboratoire estime que cette formulation agrège plusieurs problématiques qui sont différentes. Ce point fait d'abord référence au fait que « le comité n'a pas entendu parler d'échanges avec les jeunes sur ces questions, ni d'actions de sensibilisation du personnel en place visant à éviter des comportements involontaires non adaptés ». La prévention de ces problèmes est organisée et mise en place par les tutelles, sous leur responsabilité et avec leurs compétences, et déclinée au niveau du laboratoire, respectant les rôles respectifs de chacun. Concernant l'attractivité et comme expliqué lors des échanges, les difficultés de recrutement sont liées à la situation générale d'embauche dans Paris, amplifiée pour la catégorie des post-doctorants par une compétition importante avec le secteur privé dans le domaine du quantique. A l'appui de cette analyse par le laboratoire, le rapport du comité souligne les très bons résultats en termes de taux de soutenance, de publications et de débouchés suite à leur thèse, ce qui démontre par des indicateurs factuels la qualité de leur intégration et de leur suivi de façon très générale. Par ailleurs, la critique est reprise pour une équipe en particulier, alors que c'est l'équipe qui a encadré le plus de doctorants (en nombre absolu et en proportion de chercheurs) et qui donc peut être considérée comme attractive.
- 4) Le rapport note une faible fraction de femmes parmi le personnel permanent. Le laboratoire tient à souligner que cette situation est très largement le résultat d'une situation bien antérieure. L'analyse sur la période d'évaluation indique effectivement une baisse sur le personnel PAR (personnel d'appui à la recherche) liée à des départs qui n'ont pas pu être remplacés. Concernant les recrutements de chercheurs, là où l'appui et l'action du laboratoire a le plus de poids, 2 femmes ont été recrutées sur un total de 5 chercheurs, ce qui représente une fraction de 40 %, qui est donc supérieure à celle de nos domaines de recherche.

Je vous prie de recevoir, Madame, Monsieur, l'expression de ma considération distinguée.

La Présidente de l'Observatoire de Paris

*F. Casoli*

Fabienne Casoli

Les rapports d'évaluation du Hcéres  
sont consultables en ligne : [www.hceres.fr](http://www.hceres.fr)

Évaluation des universités et des écoles  
Évaluation des unités de recherche  
Évaluation des formations  
Évaluation des organismes nationaux de recherche  
Évaluation et accréditation internationales



2 rue Albert Einstein  
75013 Paris, France  
T.33 (0)1 55 55 60 10

[hceres.fr](http://hceres.fr)

 [@Hceres\\_](https://twitter.com/Hceres_)

 [Hcéres](https://www.youtube.com/Hceres)