

Cahier des Clauses Techniques Particulières CCTP

**Objet du Lot 1 : développement et maintenance évolutive de
logiciels de segment sol de missions spatiales**

**Institut d'Astrophysique Spatiale
Bâtiment 121
Université Paris Saclay
91405 ORSAY CEDEX**

Introduction.....	3
Lexique.....	3
Contexte de Solar Orbiter / SPICE.....	4
Contexte de JUICE / MAJIS	5
Objet du lot 1	5
Solar Orbiter / SPICE	5
JUICE / MAJIS.....	6
Tâches	6
Pour SPICE.....	6
Pour MAJIS.....	8
Compétences requises	8
Techniques	8
Organisationnelles.....	9
Planning.....	9
Conditions d'exécution des prestations.....	9
Réunions.....	9
Remise de documents.....	10
Changement de personnel.....	10

Introduction

L'IAS est l'un des grands laboratoires spatiaux européens, dont la recherche s'appuie fortement sur l'observation astronomique faite depuis l'espace grâce à des instruments embarqués à bord de grandes missions spatiales. Dans ce contexte, les équipes scientifiques et techniques de l'IAS définissent et conçoivent les instruments, en supervisent la réalisation, en réalisent l'intégration et en mesurent les performances avant le lancement. Une fois la mission spatiale lancée, l'IAS assure la mise en œuvre opérationnelle de certains instruments. Durant les phases d'observation, il assure la collecte des données et leur mise à disposition pour la communauté scientifique nationale et internationale. Les projets sont réalisés essentiellement dans le cadre de collaborations avec d'autres laboratoires spatiaux, en France et à l'étranger. L'IAS participe ainsi à la plupart des missions majeures en astrophysique du Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) et de l'Agence Spatiale Européenne (ESA) et collabore régulièrement avec les agences spatiales étrangères (NASA aux Etats Unis, JAXA au Japon...) L'IAS est responsable d'instruments embarqués dans des missions en cours d'exploitation (Solar Orbiter, Mars Express, JUICE, SoHO, EUCLID, ...) ou en cours de préparation (PLATO, SOLAR-C, VIGIL, Litebird, ...).

Lexique

Les acronymes suivants seront utilisés dans la suite de ce document :

Acronyme	Signification
CMS	Contamination Monitoring System (sous-système de l'instrument SPICE)
EDDS	EGOS Data Dissemination System (système de distribution de données de l'ESA)
E-FECS	Enhanced Flight Events Communications Skeleton (ensemble des opérations prévues sur le satellite)
ESA	European Space Agency (agence spatiale européenne)
GFTS	Generic File Transfer System (système de transfert de données entre l'ESA et les laboratoires partenaires)
FITS	Flexible Image Transport System (format de données utilisé par l'instrument SPICE)
IDL	Interactive Data Language
IOR	Instrument Operation Request (ensemble de commandes pour faire fonctionner l'instrument)
LTP	Long Term Planning (planning sur 3 mois) de Solar Orbiter
MIB	Mission Instrument dataBase (base de données des télécommandes / séquences de télécommandes pour les instruments)
MISO	Multi Instrument Sequence Organizer (interface de planification des opérations SPICE)

Acronyme	Signification
MOC	Mission Operation Center (centre d'opérations mission de l'ESA)
PI	Principal Investigator (responsable scientifique principal)
PDS4	Planetary Data System (Version 4 ; format de données utilisé par l'instrument MAJIS)
PSF	Point Spread Function (fonction d'étalement du point)
RAL	Rutherford Appleton Laboratory (laboratoire partenaire)
SOC	Science Operation Center (centre d'opérations scientifiques de l'ESA)
SOOP	Science Observation Plan (planning d'observation entre différents instruments/observatoires)
STP	Short Term Planning (planning de courte durée, quelques jours)
TC	TeleCommand
TCS	TeleCommand Sequence
TMC	TeleMetry Corridor
UIO	University of Oslo (laboratoire partenaire)
VSTP	Very Short Term Planning (planning de dernière minute)

Contexte de Solar Orbiter / SPICE

La mission Solar Orbiter se compose d'un satellite stabilisé trois axes, équipé d'instruments fournis par l'Europe et les États-Unis. Après son lancement en février 2020 par un lanceur ATLAS V américain, le satellite a entamé une phase de croisière comprenant des arcs balistiques, des manœuvres dans l'espace lointain et des manœuvres d'assistance gravitationnelle (GAM) qui le conduisent sur une orbite héliosphérique interne autour du Soleil. Dans un premier temps, le satellite a effectué ses observations depuis le plan de l'écliptique, se déplaçant pratiquement en co-rotation avec le Soleil lors de ses passages au périhélie. Il a ensuite utilisé à plusieurs reprises l'assistance gravitationnelle de Vénus pour modifier son inclinaison et se rapprocher progressivement des hautes latitudes du Soleil, atteignant une inclinaison de 25° à la fin de la première phase nominale de la mission, d'une durée de sept ans, puis de 34° environ à la fin de la phase de prolongation éventuelle. Les opérations scientifiques sont principalement conduites pendant les périodes de chaque orbite où le satellite est au plus près du Soleil (3 fenêtres de 10 jours chacune, centrées sur le périhélie et les hautes latitudes solaires), la charge utile ne fonctionnant en totalité que sur ces fenêtres. Une partie des instruments (ceux destinés aux mesures in situ) fonctionne pendant toute l'orbite, dans les limites imposées par les opérations de la mission (par exemple sessions de transmission des télémesures). Ces observations sont complétées par des mesures à distance, à caractère synoptique, dont la cadence est déterminée par la disponibilité des liaisons de télémesure. SPICE (Spectral Imaging of the Coronal Environment) est un des 6 instruments de télédétection embarqués à bord de Solar Orbiter. C'est un imageur spectral dans le domaine ultra-violet extrême, dédié à la caractérisation à

distance des propriétés du plasma de la couronne solaire. L'IAS est responsable des opérations de SPICE.

Contexte de JUICE / MAJIS

La mission JUICE réalisée sous maîtrise d'ouvrage ESA a pour objectifs l'étude de l'habitabilité et du fonctionnement du système jovien (Jupiter, la magnétosphère et ses satellites Europe, Ganymède, et Callisto). Pour atteindre ces objectifs, un unique orbiteur a été envoyé dans le système jovien. Elle est actuellement en phase de croisière depuis son lancement en avril 2023 avec des opérations régulières pour vérifier l'état de santé des instruments mais aussi les étalonnages en vol. La mission nominale débute en juillet 2031. MAJIS (Moon And Jupiter Imaging Spectrometer) est un des 4 instruments de télédétection dans le domaine visible et proche infra-rouge. Il a été développé sous maîtrise d'œuvre de l'IAS en collaboration avec l'Italie et la Belgique.

Objet du lot 1

Ce lot recouvre le développement et la maintenance évolutive des logiciels utilisés pour les segments sol de projets spatiaux dans lesquels l'IAS est impliqué.

Solar Orbiter / SPICE

Afin de planifier les observations de l'instrument, l'IAS dispose d'une interface web appelée MISO (Django + Javascript + PostgreSQL) permettant de définir le type d'observation souhaité, sa durée, sa date d'exécution, tout en respectant les contraintes extérieures imposées par l'ESA, ainsi que les retours du simulateur de l'instrument. Le planning défini par les utilisateurs est ensuite transformé en IOR sous forme de fichier XML respectant un schéma de validation, qui est lui-même transmis à l'ESA pour validation et envoi à l'instrument du satellite. Les fichiers bruts de données produits par le satellite sont transformés en fichiers au format FITS, et sont ensuite diffusés à la communauté par le biais de l'archive officielle de la mission, hébergée par l'ESA. Pour utiliser ces fichiers, plusieurs possibilités existent, dont un ensemble de bibliothèques Python (Sunpy, Sunraster, sospice notamment), auxquelles des contributions spécifiques à l'instrument SPICE doivent être ajoutées.

La prestation consiste à :

- implémenter les plannings d'observations de l'instrument en utilisant MISO,
- maintenir et faire évoluer MISO,
- suivre l'étalonnage en vol de l'instrument,

- développer les routines de corrections logicielles pour intégration dans la chaîne de production des données livrées à l'ESA,
- développer des outils d'analyse de données, et intégrer ces développements dans les bibliothèques existantes,
- maintenir et mettre à jour les outils capables de décoder et afficher la télémétrie en fonction de sa description dans une base de données fournie par l'ESA.

JUICE / MAJIS

En tant que PI de l'instrument MAJIS, l'IAS a développé le logiciel embarqué de l'instrument et est responsable du segment sol, de la planification des séquences d'observations à la fourniture des données calibrées. Le logiciel embarqué intègre un algorithme de compression qui permet notamment d'obtenir un volume de données compatible avec la taille de la mémoire de masse du satellite combinée avec une philosophie de récupération sélective. Une fois, les données transmises au sol, l'IAS utilise un logiciel développé en C/C++ qui lit les données, les décompresse et les trie avant qu'elles ne soient traitées et mises au format PDS4 pour l'archivage.

La prestation concerne ce logiciel qui traite les données brutes de l'instrument. Elle se décompose de la façon suivante :

- mettre à jour le module de décompression en cas de données manquantes ou corrompues
- créer un module permettant de récupérer les télécommandes de l'instrument lors des tests au sol

La mission JUICE est une mission longue, lancement en 2023 mais phase nominale de 2031 à 2035 avec une phase étendue possible en 2036-2037. Il sera donc porté une attention particulière à la robustesse du code et sa maintenabilité.

Tâches

Note : pour l'ensemble des points ci-dessous, les documentations associées seront fournies par le titulaire quand il s'agit de développement ou de corrections de bugs. Les tâches sont présentées avec une estimation du nombre de jours nécessaires à leur réalisation entre crochets.

Pour SPICE

1. Planification de observations [10j]
 - Création de timelines synoptiques
2. Maintenance / dépannage / réparation en cas de besoin (MISO ou autre) [30j]

- Chargement des E-FECS/MIB/TMC et du fichier de contraintes pour les séquences de TCS
- Création de comptes
- Résolution au fil de l'eau de dysfonctionnements éventuels
- Soumission des IOR
- Adaptation du code en cas de changements de la base de données de séquences de télécommandes de l'ESA.
- Maintenance de l'outil de visualisation de la télémessure

3. Déconvolution de la PSF [60j]

- Adaptation / optimisation du code de Joseph Plowman (disponible dans le [gitlab](#) interne du laboratoire)
- Détermination des paramètres optimaux d'ajustement.
- Détermination de la matrice généralisée permettant de traiter les données L1.
- Intégrer ce code dans le package Python sospice.
- Intégrer ce code dans le pipeline de création des données L2.

4. Suppression des impacts de rayons cosmiques dans les données [20j]

- Optimisation du code existant
- Détermination des paramètres optimaux
- Intégration dans la bibliothèque sospice

5. Détermination des paramètres de pointage [30j]

- Étude des variations de pointage le long de l'orbite
- Détermination d'une correction empirique
- Implémentation dans la chaîne de traitement des données

6. HelioViewer [30j]

Les données SPICE de niveau 3, produites par UiO, sont transformées en fichiers JPEG2000 puis ingérées dans le logiciel HelioViewer. Ces données sont listées dans un catalogue au format CSV, également produit par UiO. En se basant sur ce catalogue, il faut pouvoir vérifier que l'ensemble des données JPEG2000 présentes dans HelioViewer est complet, afin d'identifier les trous éventuels, et mettre en place les corrections nécessaires (production de ces données manquantes)

- Mise en production de la chaîne de traitement passant de données L2 à JP2000
- Développement d'un outil d'identification des données manquantes

De nouvelles tâches pourront être détaillées par des marchés subséquents. Le laboratoire établira un cahier des charges techniques dès lors que son besoin sera identifié.

Pour MAJIS

Note : Les deux tâches devront être achevées au 31/12/2026.

1. Mise à jour du module de décompression [20j]
 - Adaptation du code dans le cas de données corrompues ou manquantes
 - Modification des rapports générés en sortie du code
 - Vérification des différents modules de la décompression (à comparer avec le programme d'Yves Langevin), cette partie nécessitera des discussions en présentiel, le code d'origine étant écrit en IDL.
 - Réorganisation de l'arborescence git et mise à jour de la documentation
 - Le code devra pouvoir tourner sur des plateformes Windows et Linux.
2. Création d'un module d'extraction des TCs [30j]
 - Identifier les télécommandes utilisées lors des tests
 - Traduire ces télécommandes au format utilisé par le pipeline "vol". Ce module ne sera utilisé que par les ingénieurs chargés des tests au sol. Il s'appuie sur le logiciel en C utilisé en entrée du module de décompression. Cependant, il pourra être discuté en préambule de la nécessité de le développer en C ou en Python.

De nouvelles tâches pourront être détaillées par des marchés subséquents. Le laboratoire établira un cahier des charges techniques dès lors que son besoin sera identifié.

Compétences requises

Le titulaire mettra à disposition de l'IAS les compétences listées ci-dessous.

L'IAS apporte une attention particulière au respect des bonnes pratiques en matière de développement logiciel dans l'offre du titulaire. Le titulaire s'engage à mettre à disposition du CNRS, pour l'exécution du marché, les compétences requises dans le présent document.

Techniques

- Python3
- Bibliothèques scientifiques Python (Scipy, Numpy)
- Bibliothèques graphiques Python (Qt, PyQtGraph, OpenCV)
- Web (Django, HTML, CSS, JS, JQuery, ThreeJS)
- Base de données relationnelle, type PostgreSQL
- Scripts shell Linux (bash)
- NGINX, Unicorn
- Langage C et C++
- Outils de gestion de code (GitLab, CI, SonarQube)

Organisationnelles

- Etre autonome sur ses activités
- Etre en capacité à travailler en équipe avec plusieurs développeurs
- Expérience de projets supérieurs à 10 000 lignes de code
- Expérience du domaine spatial, en particulier des opérations d'un instrument
- Compréhension de la documentation fonctionnelle et technique en anglais
- Communication en anglais (oral et écrit)
- Bon niveau en traitement du signal ou mathématique d'analyse de données scientifiques

Planning

Chaque point tel que décrit dans la section « Objet du lot 1 » peut être effectué en parallèle aux autres. Les prestations démarrent à t0 (date de la réunion de démarrage).

L'ordonnancement et les priorités des tâches seront définis par le chef de projet de l'IAS en fonction des contraintes et avancées de la mission spatiale et du projet.

Conditions d'exécution des prestations

La prestation (décrite dans le présent CCTP y compris pour les marchés subséquents) sera effectuée les jours ouvrés, avec un minimum de 12 jours par mois de présence dans les locaux de l'IAS, pendant la durée totale de chaque commande pour la 1^{ère} année de l'accord cadre (à compter de la notification de celui-ci au titulaire). Ce nombre minimum peut être augmenté à la demande du laboratoire. Les locaux sont ouverts de 8h à 19h.

Pour les années suivantes, la présence sur site, de l'intervenant du titulaire, sera déterminée d'un commun accord entre l'IAS et le titulaire à chaque marché subséquent notifié.

Réunions

Une réunion de démarrage sera organisée dans les locaux de l'IAS à Orsay, sur convocation par courriel, dans un délai maximum de deux semaines après notification de l'accord-cadre. Elle permettra de fixer le planning des tâches à effectuer au démarrage.

En collaboration avec le titulaire, la fréquence et l'objet des réunions d'avancement seront définis lors de cette réunion ainsi que les modalités de ce suivi.

Pour suivre l'exécution de l'accord-cadre, les Parties tiendront des réunions, dont la date et le lieu de tenue seront déterminés d'un commun accord, confirmés par courrier électronique.

Une liste de courriels pour la diffusion des documents issus des réunions sera établie par l'IAS lors de la réunion de démarrage.

Remise de documents

À l'issue de chaque réunion, le titulaire devra fournir les documents ci-après :

- Le compte rendu de la réunion
- Le rapport d'activités

Ces documents seront envoyés à l'IAS dans un délai d'une semaine à compter de la réunion, pour approbation et acceptation. Ces documents devront ensuite être envoyés à la liste de diffusion définie à la réunion de démarrage, mais seulement après accord du responsable technique de l'IAS.

Les livrables sont :

- Le code développé (dans le gestionnaire de configuration de l'IAS)
- La documentation rédigée en langue anglaise

Changement de personnel

Tout changement éventuel du personnel désigné par le titulaire est signalé au CNRS par courrier électronique, dans un délai de 2 mois avant la prise d'effet de ce changement. Le titulaire aura par ailleurs l'obligation de proposer une personne avec une compétence équivalente, soumise à validation de l'IAS.

En cas d'absence imprévue supérieure à un mois du personnel désigné, le titulaire mettra à disposition un personnel pour compenser cette absence, soumise à validation de l'IAS, 48h avant la prise de fonction.