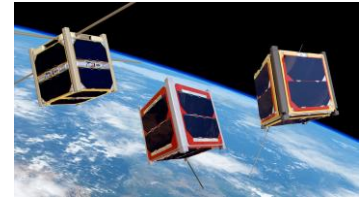


TELESCOPE ET SPECTROMETRE EUV **EMBARQUE DANS UN MICROSATELLITE**



A. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Dans ce projet on s'intéresse au Soleil et l'émission des raies spectrales atomique dans la domaine de l'extrême ultra-violet (EUV) par sa couronne. Depuis plusieurs dizaines d'année il y a eu de nombreuses missions spatiales lancées afin de caractériser l'activité solaire.¹ Le développement récent des microsattellites permet de réduire considérablement les coûts mais également l'impact énergétique de telles missions. Cependant, le faible volume disponible impose des contraintes fortes sur la conception des instruments, et en particulier sur le design optique. Au cours de ce projet vous allez concevoir et optimiser un imageur et un spectromètre destinés à être intégrés dans un microsattellite. Vous vous intéresserez aux performances optiques, mais également à la consommation électrique, au budget de poids et de volume disponible dans un microsattellite, à la conception mécanique et au coût global de l'instrument.

B. CAHIER DE CHARGE

Comme point de départ vous utiliserez un système proche de celui-ci proposé dans le concept SunCET, un imageur compact (15x15x10cm) qui peut être intégré dans un microsattellite de 6U (1U = 10x10x10cm) actuellement étudié par NASA en vue d'un potentiel lancement.² Il est composé d'un imageur à grand champ dans la région spectrale de 17-20 nm et un spectromètre de résolution spectrale de 1Å dans la gamme entre 17 et 34 nm. Une autre géométrie possible dont vous pourrez vous inspirer pour combiner l'imagerie plein champ du soleil et la spectroscopie des raies d'émission a été proposée récemment par le Smithsonian Astrophysical Observatory pour l'instrument COSIE.³ Vous chercherez à arriver à un système compact d'une qualité optique suffisante pour obtenir une image du Soleil et caractériser les raies d'émission des ions de Fe dans cette région spectrale (voir CHIANTI base de données pour les spectres d'émission⁴). Vous chercherez également des solutions pour diminuer la taille du cube à 1U ou 1.5U.

Résolution spectrale souhaitée : $\Delta\lambda \sim 0,1-0,2$ nm

Résolution spatiale souhaitée : $\sim 10-30$ arcsec/pixel

Champ de vue (FOV): $\geq 0.5^\circ$ (imager le disque solaire complet)

Questions de préparation :

- Quelle est la taille angulaire du Soleil vue par un CubeSat ?
- Selon la résolution souhaitée, quel type de détecteur (nombre de pixels) est nécessaire pour observer l'ensemble du Soleil
- Comment choisir le réseau de diffraction à utiliser pour atteindre la résolution spectrale souhaitée ?
- Quel est le rôle de la fente dans un spectromètre ?
- Définir la bande spectrale d'intérêt autour de 13 nm.

C. DESCRIPTION DE L'ETUDE

Selon votre groupe, vous travaillerez sur un télescope et un spectromètre à réseaux pour deux gammes distinctes dans l'EUV: autour de 13.3 nm pour le 1^{er} groupe et autour de 30.4 nm de longueur d'onde pour le second. L'objectif est d'explorer plusieurs configurations, en respectant le cahier de charge, pour proposer finalement une solution qui réponde au cahier des charges.

i. Le télescope de départ peut être de type Cassegrain ou ses variantes bien connues et utilisées par ce type de projets. On vous demande de commencer par un système simple et d'évaluer sa performance et ses limites avant de proposer éventuellement une solution plus complexe pour atteindre la résolution envisagée.

ii. Le système de départ sera un spectromètre à un réseau de diffraction de surface sphérique, en incidence rasante ou oblique. Pour obtenir la résolution spectrale souhaitée vous allez concevoir un tel système le plus compact possible. Éventuellement vous pouvez explorer la faisabilité d'un système « sans fente » (slitless spectrometer) tel que décrit dans la référence 3, ou d'un système à deux réseaux qui permet d'atteindre a priori une meilleure résolution spectrale.

A partir d'une étude bibliographique, vous êtes libre de proposer à la fin votre propre système en veillant à respecter le cahier des charges, et en particulier les dimensions géométriques de l'ensemble de l'instrument : système optique, électroniques, détecteurs, filtres, obturateurs etc. Les étapes principales du projet sont décrites ci-après.

1. Étude préliminaire

Pendant la première semaine du projet, étudiez le cahier de charge et définissez le travail à réaliser : liste des tâches, répartition temporelle et répartition au sein du groupe (qui fait quoi).

- Regardez la bibliographie proposée ou tout ce que vous trouvez par vous-mêmes qui soit pertinent pour cette étude.
- Quelles sont les différentes configurations optiques envisageables pour l'imageur et pour le spectromètre ?
- Quels types de détecteurs pourront être utilisés pour ce projet ? Sélectionnez celui-ci qui vous semble le plus adapté selon la résolution souhaitée.
- Définissez les éléments supplémentaires dont vous avez besoin (électronique, porte filtre, caches optiques, mécanique, mouvements). Estimez la consommation électrique, le volume et le poids de votre système.
- Revoyez les principes physiques de fonctionnement des réseaux de diffraction et des miroirs interférentiels multicouches.
- Enfin, choisissez les systèmes optiques que vous allez explorer par la suite.

2. Conception et optimisation des couches minces

Selon le système optique que vous cherchez à optimiser, vous avez potentiellement besoin d'utiliser des miroirs interférentiels multicouches. Les matériaux utilisés pour réaliser ces multicouches sont définis par les longueurs d'onde d'intérêt. Vous allez faire une étude bibliographique pour définir le type de multicouches et ensuite vous utiliserez le logiciel **IMD** pour déterminer les paramètres du multicouche (i.e., épaisseurs, no de périodes etc). Vous allez également besoin d'utiliser des filtres métalliques pour éliminer la lumière visible. Définissez le type des filtres et leur transmission, simulés dans le site de **CXRO**.⁵

3. Optimisation du système optique

Pendant la deuxième semaine du projet vous allez travailler sur la conception de votre système optique à l'aide du **Zemax**. Nous cherchons dans cette partie à optimiser le système optique pour obtenir la meilleure résolution possible tout en minimisant l'encombrement du système optique. Un des objectifs de cette semaine est de définir le tolérancement de votre système. On vous demande également de calculer l'efficacité radiométrique de l'imageur et du spectromètre et d'en déduire le rapport signal à bruit en fonction du temps d'acquisition de chaque image.

4. Simulations mécaniques de votre système

Pendant la troisième semaine du projet vous allez modéliser votre système (optiques et montures, assemblage, mise en plan) en utilisant le logiciel **SolidWorks**. Une formation sur le logiciel est prévue pour vous aider à démarrer.

5. Performances finales de votre instrument

Finalement, vous présenterez les spécifications des différents composants (avec les tolérances associées) et vous calculerez les performances de votre imageur et de votre spectromètre : performances optiques, consommation électrique, volume, poids et coût.

Dans un second temps, plusieurs pistes possibles (non obligatoires), exemples :

- *Explorer la possibilité de combiner les deux instruments dans une seule unité de IU ?*
- *Intégration des multicouches dans l'AZOS.*
- *Explorer la possibilité d'améliorer la résolution et la qualité de l'image avec un système plus sophistiqué que celui de départ, comme un spectromètre à deux réseaux de diffraction ou un instrument unique (spectro-imageur).*

D. RESSOURCES

1. «Future Prospects for Solar EUV and Soft X-Ray Spectroscopy Missions», Front. Astron. Space Sci. 8, 2021, <https://doi.org/10.1051/swsc/2021004>.
2. «SunCET: The Sun Coronal Ejection Tracker Concept», JP Mason et al., J. Space Weather Space Clim., 11, 2021, <https://doi.org/10.1051/swsc/2021004>.
3. “EUV imaging and spectroscopy for improved space weather forecasting”, L. Golub et al., J. Space Weather Space Clim. 10, 37 (2020), <https://doi.org/10.1051/swsc/2020040>
4. <https://www.chiantidatabase.org>
5. https://henke.lbl.gov/optical_constants/

E. OUTILS NUMERIQUES UTILISES

Zemax OpticStudio, SolidWorks, IMD (logiciel de simulation de revêtements multicouches EUV), Matlab ou Python si besoin, tout ce que vous trouvez pertinent.