

SOPHIE-red : la nouvelle camera pour SOPHIE

SOPHIE est un instrument d'envergure internationale. L'instrument obtient maintenant depuis plusieurs années une précision de 1 à 2m/s qui permet de détecter et caractériser des systèmes exoplanétaires de premier plan : Gl411b qui, avec une masse minimale de trois fois la masse de la Terre, est la 3ème planète la plus proche du Système Solaire. Elle est, avec Proxima Centaure b, la planète tellurique la mieux adaptée à une caractérisation directe (Diaz et al. 2019). Un autre résultat marquant est le système autour de HD158259 qui montre un minimum de 6 planètes en résonance, dont une est en transit détecté par TESS (Hara et al. 2020).

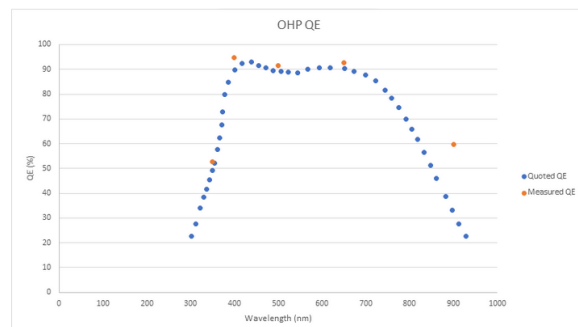
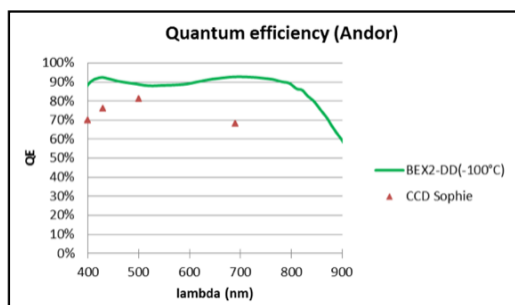
Les performances actuelles de SOPHIE et le contexte scientifique (suivi PLATO, mesures des étoiles K) nous amène à fiabiliser les opérations pour les 10 à 15 prochaines années.

Les paramètres de la caméra

Le vieillissement de l'actuelle caméra SOPHIE nous conduit à la remplacer. Bénéficiant d'un financement CPER de l'OHP et de crédit CSAA-INSU, nous avons acquis une caméra ANDOR IKON-XL dont le design a été adapté à l'espace contraint dans le spectrographe.

L'extension du format du détecteur (4096x4096pix au lieu de 4096x2048pix) va permettre d'imager des ordres rouges supplémentaires, d'où l'appellation SOPHIE-red. Le détecteur choisi est un E2V -BEX2-DD 4Kx4K de pixels de 15 microns Deep Depletion illuminé par l'arrière, traité pour suppression des franges en gardant une bonne sensibilité dans le bleu et le rouge. Il n'y a pas de problème cosmétique dans la zone où sera imagé le spectre scientifique. Le détecteur est refroidi par Peltier et peut descendre jusqu'à -100°C. Le courant d'obscurité est négligeable pour des poses d'une heure.

Dans les améliorations apportées par l'ensemble caméra, on note ainsi que le QE du détecteur est bien meilleur que celui de l'actuelle caméra de SOPHIE (A gauche comparaison avec SOPHIE A droite image mesuré par le constructeur).



Un autre point positif est que l'ancienne caméra présentait un effet de CTI (charge transfer inefficiency) assez important, que l'on devait corriger dans la DRS pour obtenir une bonne précision en vitesse radiale. Cette caméra devrait normalement présenter un plus faible effet. Ce point ne pourra être clairement identifié qu'une fois la nouvelle camera monté sur le spectrographe.

Les paramètres du spectres

A la première intervention, la configuration des éléments résolutifs du spectrographe restera inchangé. La résolution du spectrographe devrait donc rester la même, c'est-à-dire :

High-Resolution mode $R = 75,000$

High-Efficiency mode $R = 39,000$

Les deux modes d'observation restent identiques qu'avec l'ancienne caméra : même ouverture sur le ciel, même différence d'efficacité en magnitude (page web SOPHIE : <http://www.obs-hp.fr/guide/sophie/sophie-eng.shtml>).

La configuration spectrale attendue est la même que celle de SOPHIE avec au minimum un ordre bleu supplémentaire et plusieurs ordres rouges. Nous attendons à imager de 386.8nm à environ 780-850 nm.

Le nombre exact de ces ordres rouges est difficile à déterminer exactement sans que la caméra soit montée sur le spectrographe. Le design a montré que l'on peut imager sur la caméra jusqu'à 900nm. Nous avons aussi pu tester que les optiques des fibres laissent passer les longueurs d'onde jusqu'à 900nm. Par contre, la transmission exacte des optiques internes au spectrographe n'est pas connue au-delà de 700nm, ainsi que le vignettage exact qu'ils subiront.

Les paramètres des modes d'observation

La caméra sera lue par un port unique. Les informations seront codées sur du 18bits, le mode ultrafast sur 16bits.

	SLOW	FAST	ULTRA-FAST (à confirmer)
Temps de lecture	171.4s	18s	6.7s
Bruit de lecture	2.2 e-	4.8 e-	10.6 e-
Gain	0.35 e-/ADU	0.65 e-/ADU	2.04 e-/ADU
Saturation	A mesurer	183 000 e- / pix	A mesurer

De la même façon que pour l'utilisation de SOPHIE, le mode de lecture lent est à utiliser pour des observations dont le $SNR < 30$. Le mode de lecture Ultra-fast est pensé pour les séquences rapides sur des étoiles et pour les observations de transit d'étoiles brillantes.

Passage SOPHIE / SOPHIE-red

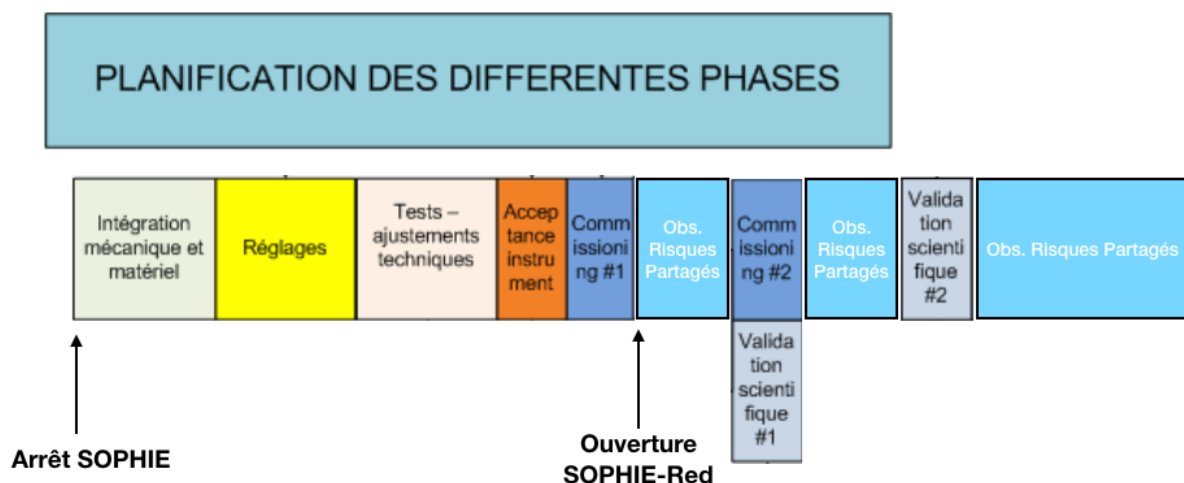
Le suivi en vitesse radiale de SOPHIE à SOPHIE-red sera assuré par la mesure d'étoiles constantes et d'étoiles stables des programmes récurrents. Les étoiles constantes sont mesurées quasiment chaque nuit depuis 2011 ce qui permet de calculer la constante maître (Courcol et al. 2015, Hara et al. 2020), utilisée pour obtenir la meilleure précision en vitesse radiale (VR) de l'instrument. Afin de pallier les différents types spectraux et différentes métallicités (les paramètres dont dépendent le saut en VR entre deux instruments), les mois précédents et suivants le changement seront particulièrement suivis par d'autres étoiles constantes issues des différents programmes récurrents SOPHIE Exoplanètes.

Planning

La camera a été livrée à l'OHP mi-Avril 2021. Les tests de validation ont été faits au printemps et validés en Juin 2021. À l'automne 2021, les actions en cours sont : design et fabrication mécanique des outils d'accostage et de réglages de la camera, développement du contrôle commande de la camera, finalisation du système de sécurisation de la camera, adaptation de la DRS (logiciel de réduction automatique des données). L'installation de la caméra est prévue pour mars 2022 (début du semestre 22A).

Le logiciel de réduction automatique des données est en cours d'adaptation au nouveau format spectral.

Dans la suite des opérations de fiabilisation, un changement du train de fibre est planifié afin de pallier à l'absorption des fibres vers 720-750nm.



Prochain appel d'offre

La caméra va être installée au début du semestre 2022A. Un minimum de 8 semaines d'arrêt SOPHIE est prévu pour le démontage, l'installation, les réglages et les tests avant observation sur le ciel. La caméra sera ensuite offerte en mode Risque Partagé.

Dans le mode Risque Partagé, il est possible que tout le domaine de longueur d'onde ne soit pas automatiquement réduit avec la DRS. Néanmoins, les données brutes restent accessibles, elles pourront être re-réduites avec une version plus avancée de la DRS dans les semaines suivantes afin d'exploiter tout le contenu scientifique. Particulièrement le traitement des raies telluriques des ordres les plus rouges nécessitera quelques tests avant d'être validé et distribué à la communauté.

L'équipe

Responsables projet : Auguste Le Van Suu / Sandrine Perruchot

Equipe technique : Pierre-Eric Blanc, Amandine Caillat, Francois Dolon, Francois Moreau, Rico Sottile

Responsable scientifique : Isabelle Boisse (LAM)

Equipe scientifique : Xavier Bonfils (IPAG), Xavier Delfosse (IPAG), Nathan Hara (Genève), Guillaume Hebrard (IAP/OHP), Neda Heidari (LAM), Alexandre Santerne (LAM)

Experts extérieurs : Francois Bouchy (Genève), Christophe Fabron (LAM)

Merci aux échanges avec les équipes Neo-Narval et MISTRAL pour leurs expertises avec les cameras ANDOR.