



# **JAMES WEBB SPATIAL TELESCOPE**

*L'imageur MIRIM : une contribution française*

## LES INTERVENANTS



### DAVID ELBAZ

Astrophysicien et directeur scientifique du département d'astrophysique du CEA, participe à deux grands programmes d'observation des confins de l'Univers avec le JWST. Avec ses collègues, il a récemment découvert une population de galaxies invisibles à Hubble, des sortes de galaxies dinosaures dont il veut comprendre la naissance et l'extinction avec le JWST. Son dernier livre (« La plus belle ruse de la lumière... Et si l'Univers avait un sens », Ed.O.Jacob, 27/10/2021) retrace l'histoire de nos origines que va compléter le JWST.



### PIERRE-OLIVIER LAGAGE

Astrophysicien au CEA, spécialiste d'instrumentation et d'observations de disques proto- et post-planétaires et d'exoplanètes dans le domaine de l'infrarouge thermique. Il s'est impliqué dans le JWST dès 1998 et a été parmi les quelques astrophysiciens à plaider pour la présence d'un instrument qui couvrirait l'infrarouge thermique. Une fois l'instrument accepté, il est devenu Co-PI et a conduit la participation française à Miri. Côté observations, il est en charge de la coordination des observations d'exoplanètes qui vont être conduites dans le cadre du temps garanti Miri. Afin de développer les méthodes innovantes nécessaires pour réduire et interpréter les observations d'atmosphères d'exoplanètes par le JWST, il a initié puis coordonné le programme européen H2020 intitulé Exoplanets A. Il prépare aussi l'après JWST pour les exoplanètes en étant l'un des 2 Co-PIs français de la mission Ariel de l'Agence spatiale européenne (ESA) et est membre de l'équipe scientifique que l'ESA a mis en place pour cette mission.



### OLIVIER LA MARLE

Travaille au CNES depuis 2001. Depuis 2019, au sein de la Direction de l'Innovation, des Applications et des Sciences, il est responsable du programme Sciences de l'Univers, et délégué français au Science Program Committee de l'ESA. De 1996 à 2008, il a travaillé comme ingénieur pour divers projets spatiaux et non-spatiaux, dans le privé puis au CNES. Entre 2008 et 2019, il a été expert thématique astronomie-astrophysique au CNES, concernant notamment les missions Gaia, JWST, Euclid, SVOM et Athena.



## **AURELIE MARCHAUDON**

Directrice de recherche CNRS à l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie (IRAP ; CNRS/CNES/UT3 Paul Sabatier) de Toulouse depuis 2012. Elle étudie les environnements spatiaux des planètes (Terre, Mars, Jupiter...) et leur interaction avec les émissions (radiations, particules) en provenance du Soleil, au travers de modélisations numériques du milieu et de mesures issues d'instruments embarqués à bord de satellites et de radars au sol dans le cas terrestre. Elle est également chargée de mission astronomie astrophysique à l'Institut national des sciences de l'Univers du CNRS où elle assure le suivi le Programme national de planétologie et le Programme national Soleil Terre origines que va compléter le JWST.



## **NICOLE NESVADBA**

Directrice de recherche CNRS au Laboratoire Lagrange (CNRS/Observatoire de la Côte d'Azur/Université Côte d'Azur) à Nice. Elle est experte en évolution des galaxies, qu'elle étudie à l'aide des observations dans différents domaines spectraux, de l'optique et infrarouge jusqu'au radio. Elle s'intéresse en particulier à l'impact qu'ont les trous noirs supermassifs dans les noyaux actifs des galaxies sur la formation d'étoiles dans leurs galaxies hôtes. Elle fait partie de quatre programmes d'observation sur le JWST : un programme ERS, et trois programmes d'observation en temps ouvert, dont un qu'elle pilote mis en place pour cette mission.



## **DESI RAULIN**

Cheffe de projet au CNES. Elle a tenu divers postes dans le domaine de l'ingénierie et du consulting pendant dix ans avant de rejoindre le CNES en 2008. Elle a participé aux développements des systèmes sol de plusieurs projets spatiaux dans le domaine des sciences de l'Univers. Au sein de la sous-direction « Sciences et Exploration », elle assure la préparation de la phase d'exploitation du projet. Elle coordonne la phase de qualification opérationnelle et la mise en place de l'équipe opérationnelle. En phase d'exploitation, elle assura la conduite du projet jusqu'à la fin de l'exploitation de la mission. Ces projets incluent Taranis, Solar Orbiter, le JWST, SVOM et Athena X-IFU.

# SOMMAIRE



<b>Mirim, un imageur au cœur du JWST .....</b>	<b>5</b>
Une contribution française cruciale .....	6
L'imageur Mirim.....	6
<b>Premiers programmes de recherche français utilisant MIRIM</b>	<b>8</b>
<b>Mice, un centre d'expertise pour Mirim.....</b>	<b>9</b>
<b>Contacts.....</b>	<b>10</b>



Le 18 décembre 2021, le JWST (James Webb Space Telescope), télescope spatial le plus puissant jamais construit, sera lancé par une fusée Ariane depuis Kourou. Développé par la NASA en coopération avec l'Agence Spatiale Européenne (ESA) et l'Agence Spatiale Canadienne (ASC), il observera l'Univers dans l'infrarouge. À son bord, quatre instruments dont l'imageur Mirim, développé principalement par la communauté française.

Le JWST est amené à remplacer Hubble et Spitzer, respectivement lancés en 1990 et 2003. Tandis que la sensibilité limitée dans le domaine de l'infrarouge de Hubble l'empêchait de voir plus loin que 500 millions d'années après le Big-Bang, le JWST sera capable de voir des étoiles seulement 200 millions d'années après la naissance de l'Univers. Il aura également une résolution angulaire sept fois plus grande que Spitzer et une sensibilité cinquante fois supérieure.

Chaque partenaire est responsable d'un ou plusieurs instruments et fournit des équipes pour soutenir les opérations, en échange de temps d'observation garanti. Ainsi, si les prouesses du JWST seront rendues possibles grâce à la taille conséquente de son miroir, elles seront aussi dues à des innovations technologiques du monde entier, dont la France.

Pour en savoir plus : <https://www.jwst.fr/>

## Mirim, un imageur au cœur du JWST

L'imageur Mirim, couplé au spectrographe MRS, forme l'instrument Miri, pour *Mid-InfraRed Instrument*. Seul instrument du JWST qui opérera dans l'infrarouge moyen, Miri est le fruit d'une collaboration européenne regroupant dans un consortium entre le Royaume-Uni (PI), la France, l'Allemagne, la Belgique, le Danemark, l'Espagne, l'Irlande, les Pays-Bas, la Suède et la Suisse, réuni en consortium sous l'égide de l'ESA.

Miri sera le seul instrument du JWST à voir au-delà de 5 micromètres de longueur d'onde. Il offrira quatre modes d'observation différents : imagerie, coronagraphie, spectroscopie à basse résolution, et spectroscopie à intégrale de champ à moyenne résolution, dont les trois premiers sont assurés par Mirim.

La grande étendue du domaine spectral couvert par l'instrument, combinée à la sensibilité exceptionnelle au rayonnement émis à ces longueurs d'onde d'un télescope comme le JWST, augure de nombreuses découvertes.

MIRI permettra d'étudier :

- La formation et l'évolution des galaxies dont le décalage vers le rouge (redshift) est plus grand que  $z = 5$  (soit des galaxies dont la lumière observée a été émise il y a plus de 12 milliards d'années).
- Les mécanismes physiques qui régissent la formation des étoiles et des planètes.
- La fabrication des premiers éléments lourds de l'univers.
- Les exoplanètes, avec la recherche de l'origine des éléments propices à la Vie en ligne de mire.

### Les autres instruments du JWST

Le JWST embarque avec lui trois autres instruments. La caméra proche infrarouge large champ Nircam (Near Infrared Camera) est développée par l'Université d'Arizona. Nirspec, fourni par l'ESA, est lui un spectromètre proche infrarouge multi-objet à large champ. Enfin, l'ASC fournit un ensemble composé d'un détecteur de guidage de précision pour orienter le satellite, FGS, et de Niriss, un imageur proche infrarouge couplé à un spectrographe.



Zoom sur Mirim ©L. Godart / CEA

## Une contribution française cruciale

Le consortium Miri a confié le développement de l'imageur Mirim à la France grâce à son expertise unique au monde : le CEA a en effet acquis une expertise étendue dans le domaine de l'infrarouge moyen avec la réalisation d'Isocam, installé sur le satellite Iso, ou de l'instrument Visir du VLT au Chili.

Mirim a été développé entre 2004 et 2009 sous la responsabilité du CNES, signataire de l'accord MIRI avec l'ESA. Le CNES, maître d'ouvrage, contrôle et adapte les ressources humaines et le budget français en fonction de l'avancement des développements et des plannings au niveau du JWST, de MIRI et de MIRIM. En cas de difficultés techniques sur des sujets spécifiques, le CNES apporte aussi l'aide de ses experts internes.

Le CEA, en tant que maître d'œuvre de Mirim, a joué un rôle majeur. Le CEA a ainsi conçu l'instrument, réalisé la structure mécanique et la roue à filtre, puis assemblé et testé l'instrument. Il est aussi en charge du suivi de ses performances scientifiques et a pu – fait unique en Europe – participer aux tests des détecteurs aux États-Unis. Il a aussi coordonné l'implication de tous les partenaires, dont les quatre partenaires français.

Le CEA s'est appuyé sur le savoir-faire des équipes de trois laboratoires français :

- Le Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique (Lesia ; Observatoire de Paris-PSL/CNRS/Sorbonne Université/Université de Paris) a développé un nouveau système de coronographe de type « quatre quadrants ». Cette technologie sera envoyée pour la première fois dans l'espace grâce à JWST.
- L'Institut d'astrophysique spatiale (IAS, CNRS/Université Paris-Saclay) a développé un simulateur qui permet aux chercheurs de mieux comprendre les fonctionnalités et spécificités de Mirim et d'acquérir un maximum de savoir-faire avant d'exploiter l'imageur.
- Le Laboratoire d'astrophysique de Marseille (LAM, Aix-Marseille Université/CNRS) a réalisé les tests mécaniques des différents sous-systèmes. Ces tests sont particulièrement importants pour s'assurer que l'instrument résiste aux vibrations subies au décollage.

## L'imageur Mirim

L'imageur Mirim propose trois modes d'observation :

- « imagerie » pour photographier le ciel à diverses longueurs d'onde grâce à dix filtres interchangeables,
- « spectrographie » décomposant la lumière afin d'y rechercher la signature d'éléments et de molécules cosmiques,
- « coronographie » permettant « d'éteindre » la lumière d'une source très lumineuse (étoile, noyau de galaxie) pour mieux observer son voisinage.

Pour assurer ces fonctions, Mirim est équipé d'une roue à filtre, qui permet de choisir entre 15 traitements de la lumière reçue par le JWST : 10 filtres à bande passante large sont ainsi disponibles pour l'imagerie classique, 4 filtres pour la coronagraphie et un prisme double pour le spectrographe basse résolution.

C'était un défi d'avoir un concept optique qui permettait d'avoir ces 3 modes avec un seul mécanisme.

## Imagerie

Avec un champ de vue de  $74 \times 113$  seconde d'arc<sup>2</sup> et un pixel de 0,11 seconde d'arc, MIRI va permettre d'obtenir des images d'une précision et d'une profondeur inédites. Tous les domaines de l'astrophysique vont en bénéficier et plus particulièrement la recherche des premières lueurs dans l'Univers à la sortie de l'âge sombre.

## Spectrographie

Le spectromètre permet d'étaler sur le détecteur la lumière en fonction des longueurs d'onde qu'elle contient et, ainsi, de mettre en évidence des signatures d'atome, ions ou molécules. L'étalement de la lumière est fait à l'aide d'un double prisme en germanium et sulfure de zinc. Il existe deux modes d'observations : avec fente qui limite la contribution du fond du ciel et permet une très grande sensibilité et sans fente pour limiter les effets des petites oscillations du pointage du télescope lors d'observations d'exoplanètes par la méthode des transits.

## Coronagraphie

La fonction d'un coronographe est d'atténuer ou de supprimer le flux d'un objet très brillant (une étoile par exemple) afin d'observer son environnement proche peu lumineux (une exoplanète par exemple).

La séparation angulaire entre une étoile et son système planétaire étant très petite, l'utilisation de coronographes classiques à pastille de Lyot n'est pas adaptée. Une nouvelle génération de coronographes de phase à 4 quadrants a été mise au point et étudiée par une équipe de chercheurs menée par Daniel Rouan, directeur de recherche CNRS émérite au Lesia. Ces coronographes appelés 4QPM (*Four-Quadrant Phase Masks*) permettent d'atténuer le flux de l'étoile et d'observer des objets angulairement très proches.

En savoir plus : <https://www.jwst.fr/miri/>



## **Premiers programmes de recherche français utilisant MIRIM**

Le temps d'observation du JWST est organisé en différents programmes qui ont chacun des caractéristiques différentes : le temps ouvert (GO), le temps garanti (GTO) et *l'Early Release Science* (ERS).

### **L'early release science : Jupiter et étoiles massives**

Les six mois suivant le lancement, le JWST sera dans une phase de mise en service : cette phase permettra de tester les capacités de détection des différents instruments ainsi que vérifier si tout fonctionne selon les prévisions. Cette phase de test sera suivie par une première période d'observation d'environ 500 heures. Cette phase, nommée ERS, doit permettre de démontrer auprès des communautés scientifiques les aptitudes réelles du JWST.

Parmi les treize équipes retenues, onze comptent utiliser Miri, dont deux impliquent fortement des scientifiques français.

Thierry Fouchet, de Sorbonne Université, est ainsi co-responsable de la seule observation d'ERS consacrée au système solaire. Son équipe internationale compte caractériser l'atmosphère jovienne (vents, températures, nuages, composition atmosphérique...), observer ses satellites Io et Ganymède ainsi que le fin anneau de la planète géante.

Olivier Berné, du CNRS, est lui responsable d'un programme d'observation de régions de photodissociation. Les gaz et poussières chauffés par des étoiles très massives dans ces régions sont responsables de la plus grande partie du rayonnement infrarouge émis par les galaxies formant le plus d'étoiles.

### **Le temps garanti : naines brunes et exoplanètes**

L'ERS sera suivie d'un premier cycle d'observations, partagé en deux parties : le temps garanti et le temps ouvert. Pour toutes les équipes participant au projet, le temps garanti (GTO) permet de réaliser les observations qu'ils souhaitent sans passer par les comités de sélection mise en place pour le temps ouvert. Ainsi le consortium européen qui a développé MRI dispose de 450 heures. Ces premières données vont permettre aux équipes de mieux construire leur projet pour la phase du temps ouvert tout en gardant la propriété de leurs données pendant un an.

Le CEA coordonne l'un des 3 grands projets du temps garanti MIRI ; celui qui va être consacré à l'observation de plusieurs systèmes planétaires, dont l'acquisition de lumière émise par Trappist-1b, une exoplanète de la taille de la Terre.

L'équipe de Pierre-Olivier Lagage compte aussi observer trois naines brunes, des étoiles faiblement lumineuses, afin de caractériser leur atmosphère.

### **Le temps ouvert**

Le temps ouvert qui débute ensuite permettra aux équipes de recherche du monde entier de proposer des programmes d'observation et d'utiliser les données recueillies, diffusées librement.

Parmi les 266 programmes d'observation déjà approuvés, figurent notamment côté français :

- Une étude des disques autour des étoiles, dirigée par François Menard, chercheur CNRS à l'Institut de planétologie et d'astrophysique de Grenoble (Ipag, CNRS/Université de Grenoble)
- Deux études des galaxies, une dirigée par Nicole Nesvabda, chercheuse CNRS au Laboratoire Lagrange (CNRS/Observatoire de la Côte d'Azur/Université Côte d'Azur), l'autre codirigée par Johan Richard, astronome de l'Université Claude Bernard Lyon 1 au Centre de recherche astrophysique de Lyon (CNRS/ENS de Lyon/Université Claude Bernard Lyon 1)
- Une étude du climat de Pluton, dirigée par Emmanuel Lellouch, astronome de l'Observatoire de Paris-PSL au Lesia
- Une étude de la physique stellaire, dirigée par Catherine Dougados, chercheuse CNRS à l'Ipag
- Et deux études du milieu interstellaire, l'une dirigée par François Boulanger, chercheur du CNRS au Laboratoire d'étude du rayonnement et de la matière en astrophysique et atmosphères (Observatoire de Paris – PSL/CNRS/Sorbonne Université/ CY Cergy Paris Université) et l'autre par Philippe André, chercheur CEA au laboratoire Astrophysique, instrumentation, modélisation (CNRS/CEA/Université de Paris)

Cette phase, constituée de plusieurs cycles d'observation, devrait durer une dizaine d'années avant que les réserves de carburant, nécessaires aux corrections de position du télescope, ne s'épuisent. Ce sera alors la fin de la mission.



## Mice, un centre d'expertise pour Miri

L'observatoire spatial JWST générera près de 300 GB de données par jour, renvoyées sur Terre. L'institut des sciences du télescope spatial (STScI), à Baltimore, effectuera un premier traitement des données. Cependant les caractéristiques techniques de l'instrument Miri rendent ce traitement particulièrement délicat. Pour cette raison, le CEA a mis en place, avec ses partenaires français, un centre d'expertise pour accompagner les chercheurs dans leurs demandes d'observation et dans le traitement de leurs données. Ce centre d'expertise surnommé Mice (« Miri center of expertise ») accompagnera les astrophysiciens souhaitant utiliser les capacités observationnelles de Miri.

## CONTACTS

**Guilhem BOYER**

✉ [guilhem.boyer@cea.fr](mailto:guilhem.boyer@cea.fr)

☎ 06 73 41 42 45

🐦 @CEA\_Officiel

**Manon COLONNA D'ISTRIA**

✉ [manon.colonna@cea.fr](mailto:manon.colonna@cea.fr)

☎ 06 89 30 26 74

**François MAGINIOT**

✉ [francois.maginiot@cnrs.fr](mailto:francois.maginiot@cnrs.fr)

☎ 01 44 96 43 09

🐦 @CNRS

**Raphaël SART**

✉ [raphael.sart@cnes.fr](mailto:raphael.sart@cnes.fr)

☎ 01 44 76 74 51

🐦 @CNES

**Pascale BRESSON**

✉ [pascale.bresson@cnes.fr](mailto:pascale.bresson@cnes.fr)

☎ 01 44 76 75 39

**Olivia BAUMANN**

✉ [olivia.baumann@cnes.fr](mailto:olivia.baumann@cnes.fr)

☎ 01 44 76 76 59