

Le JWST entre en scène

Sources : NASA, ESA

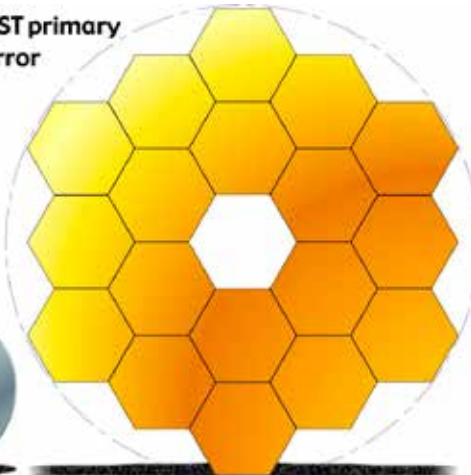
Le JWST est un programme international dirigé par la NASA avec ses partenaires, l'ESA et l'Agence spatiale canadienne. Le télescope porte le nom de James E. Webb, qui a été administrateur de la NASA de 1961 à 1968 pendant les programmes Mercury, Gemini et Apollo. Le JWST a été lancé en décembre 2021 à bord d'une fusée Ariane 5 de l'ESA depuis la base de Kourou, en Guyane française, et est entré en orbite en janvier. Après le déploiement et la phase de vérification des modes d'instrumentation, le JWST a donc commencé son rôle de successeur de Hubble comme mission phare de la NASA en astrophysique.

Le télescope spatial James Webb (JWST) est le télescope spatial le plus grand, le plus puissant et le plus complexe jamais construit. Il devrait permettre de résoudre de nombreuses énigmes de l'astronomie aussi bien dans le Système solaire que dans l'univers profond, Trois décennies après les projets initiaux, le télescope est enfin en phase opérationnelle et les



*Illustration du JWST déployé.
(NASA)*

JWST primary mirror



Hubble primary mirror

*Comparaison des miroirs primaires des télescopes spatiaux Hubble et Webb. La surface collectrice de Webb est six fois celle de Hubble. Le diamètre (6,5 m) est 2,7 fois plus grand, donnant une résolution 2,7 fois meilleure pour une longueur d'onde donnée. Cette différence apparaît surtout dans le rouge, où les deux télescopes peuvent opérer. À 15 μm , la résolution de Webb est dix fois moins bonne que celle de Hubble à 0,6 μm .
(NASA)*

premières images ont été publiées, avec grand fracas, en juillet. Le développement a commencé en 1996 pour un lancement initialement prévu en 2007 avec un budget de 500 millions de dollars US. Il y a eu de nombreux retards et dépassements de coûts, notamment une refonte majeure en 2005, un bouclier solaire déchiré lors d'un déploiement d'entraînement, les recommandations d'un comité d'examen indépendant, une menace du Congrès américain d'annuler le projet, la pandémie COVID-19 et des problèmes avec le télescope lui-même. La construction s'est achevée fin 2016, suivie par des années de tests approfondis avant le lancement.

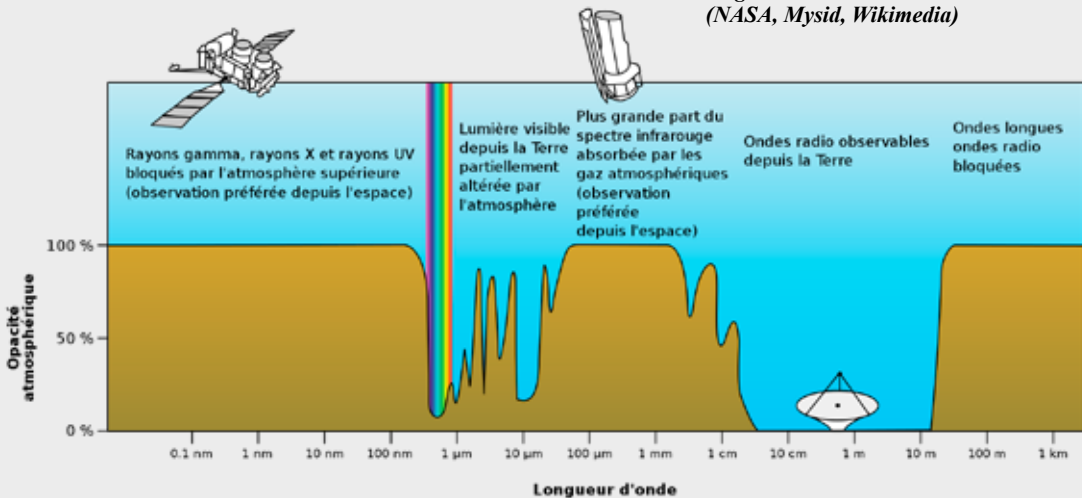
Le coût total du projet devrait maintenant s'élever à environ 9,7 milliards de dollars américains.

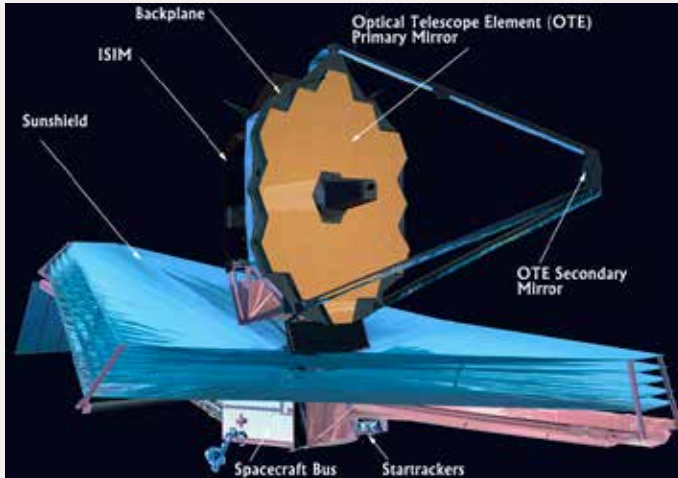
Le télescope spatial Webb est conçu principalement pour l'astronomie infrarouge. Sa résolution et sa sensibilité infrarouge lui permettent d'observer des objets inaccessibles au télescope spatial Hubble. Cela ouvre un large éventail d'investigations dans les domaines de l'astronomie et de la cosmologie, comme l'observation des premières étoiles et des premières galaxies, et la caractérisation atmosphérique détaillée d'exoplanètes potentiellement habitables.

Les télescopes terrestres doivent percer l'atmosphère qui est opaque dans de nombreuses bandes infrarouges. Même lorsque l'atmosphère semble très claire, elle contient de nombreux composés chimiques, comme l'eau, le dioxyde de carbone et le méthane, qui absorbent dans toute une série de longueurs d'onde, ne laissant passer plus ou moins librement que quelques domaines : « les fenêtres

atmosphériques ». Les télescopes spatiaux existants, comme Hubble, ne peuvent pas étudier l'infrarouge thermique car leurs miroirs ne sont pas suffisamment froids (le miroir de Hubble est maintenu à environ 15 °C) et rayonnent donc fortement dans les bandes infrarouges.

Opacité de l'atmosphère terrestre en fonction de la longueur d'onde.
(NASA, Mysid, Wikimedia)





Représentation schématique du télescope spatial James Webb. (NASA)

Le module d'instruments ISIM (Integrated Science Instrument Module) comprend les caméras et les instruments scientifiques de Webb.

L'OTE est l'œil de l'observatoire. Il recueille la lumière provenant de l'espace et la transmet aux instruments scientifiques situés dans l'ISIM.

Le sous-système de pare-soleil (sunshield) sépare le côté chaud de l'observatoire (Spacecraft Bus), face au Soleil, du côté froid

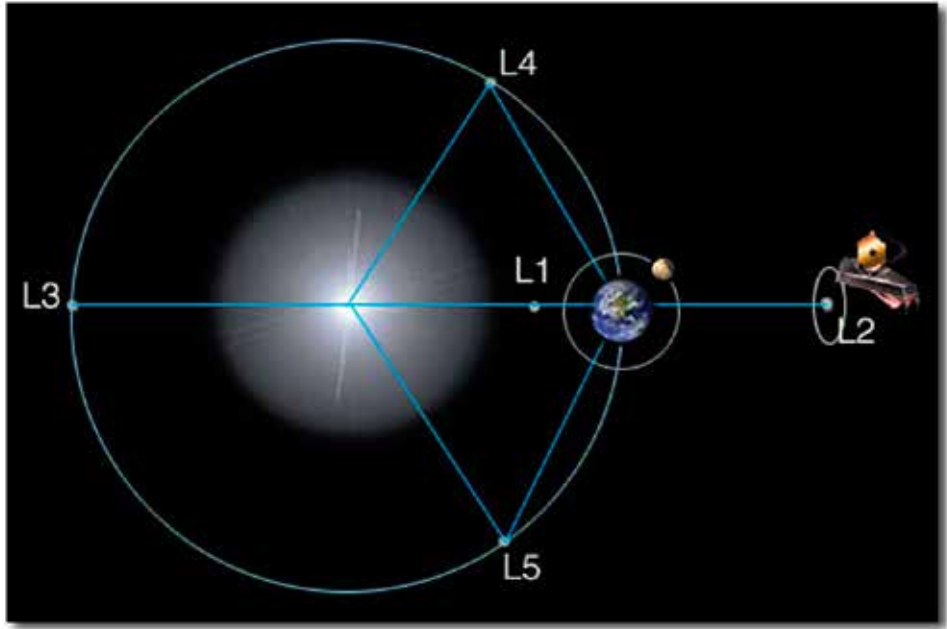
où se trouvent l'OTE et l'ISIM. Ces éléments de l'observatoire peuvent ainsi être maintenus en dessous de 50 K.

Le Spacecraft Bus fournit les fonctions de soutien pour le fonctionnement de l'observatoire. Le bus abrite les six principaux sous-systèmes nécessaires au fonctionnement du vaisseau spatial : l'alimentation électrique, le contrôle d'attitude, les communications, les commandes et le traitement des données, la propulsion et le contrôle thermique.

Le télescope spatial James Webb ne tourne pas autour de la Terre, comme le fait le télescope spatial Hubble. Il tourne autour du Soleil, de conserve avec la Terre, mais un peu plus loin qu'elle, à 1,5 million de kilomètres de nous, au deuxième point de Lagrange ou L2. Un observateur terrestre le verrait aux environs du point antisolaire, baigné des faibles lueurs du *Gegenschein*.

Le miroir primaire est constitué de 18 segments de miroir hexagonaux en béryllium plaqué or qui, combinés, créent un miroir de 6,5 mètres de diamètre, contre 2,4 mètres pour Hubble. Cela donne au télescope Webb une surface collectrice de 25 mètres carrés, soit environ 6 fois celle de Hubble.

S'il avait été d'une seule pièce, le miroir aurait été trop grand pour les véhicules de lancement existants. Les 18 segments se sont recombinaés après le lancement du télescope. La détection du front d'onde du plan image par récupération de phase est utilisée pour positionner les segments du miroir au bon endroit à l'aide de micromoteurs très précis. Après cette configuration initiale, ils ne nécessitent que des mises à jour occasionnelles tous les quelques jours pour conserver une mise au point optimale, contrairement aux télescopes terrestres, par exemple les télescopes Keck, qui ajustent continuellement leurs segments de miroir à l'aide d'optiques actives pour surmonter les effets de la charge gravitationnelle et du vent.



Les cinq points de Lagrange du système Soleil-Terre. (NASA)

Le point 2 de Lagrange

Le mathématicien Joseph-Louis Lagrange a découvert les cinq configurations permettant à un petit corps de garder la même position par rapport à deux corps massifs en orbite. Les points L1, L2 et L3 sont alignés avec les deux astres principaux, alors que L4 et L5 se trouvent aux sommets de triangles équilatéraux formés avec ces astres.

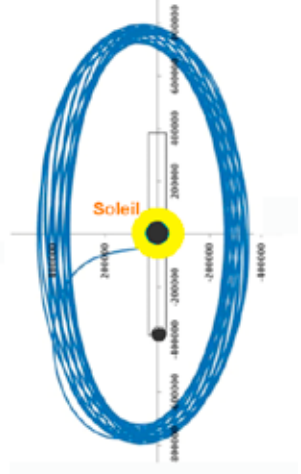
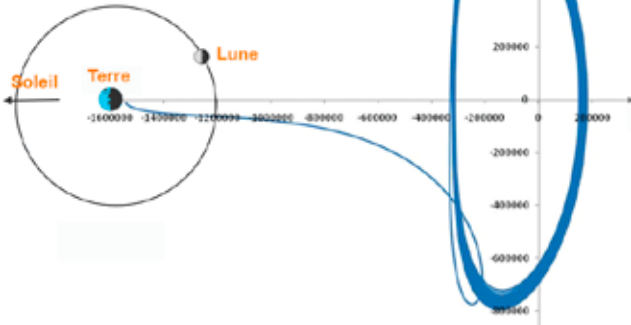
Les trois premiers points sont instables. À la moindre perturbation l'objet quitte définitivement sa position. Par contre L4 et L5 sont stables pourvu que les deux astres principaux aient des masses très différentes. Ces deux points ont donc tendance à collecter des objets, poussières ou astéroïdes, alors que ce n'est pas le cas des trois autres. C'est ainsi qu'il existe des astéroïdes aux points L4 et L5 du système Soleil-Jupiter (les Troyens). C'est aussi le cas des couples Soleil-Neptune, Soleil-Mars, ou encore Saturne-Téthys.

En raison de leurs positions privilégiées, L1 et L2 présentent un grand intérêt pour les astronomes. Malheureusement, l'instabilité de ces points demande l'appui occasionnel de petites fusées pour maintenir un engin en place. En L1, on peut observer le Soleil en permanence et de nombreux observatoires solaires y ont été placés, notamment DSCOVR, WIND, SOHO et ACE.

L2 est idéalement situé pour avoir une vue dégagée du reste de l'Univers. C'est pour cela qu'on y a placé Webb, mais aussi WMAP, Herschel et Planck.

En réalité, Webb décrit une orbite autour de L2, d'une taille comparable à celle de l'orbite de la Lune autour de la Terre ce qui lui assure d'être hors de l'ombre de la Terre et de la Lune.

1) Vue du dessus du plan de l'écliptique



2) Vue en coupe du plan de l'écliptique



3) Vue dans l'axe Terre-Soleil

Vues en projection de l'orbite du télescope spatial James-Webb (en bleu) sur trois plans orthogonaux. (NASA)



Inspection, en 2012, de l'un des segments du miroir primaire dans une chambre propre du centre Goddard de la NASA. (NASA Goddard/Chris Gunn)

Contrairement à Hubble, qui observe dans les spectres de l'ultraviolet proche, du visible et de l'infrarouge proche (0,1-1,7 μm), le JWST observera dans une gamme de fréquences plus basses, du rouge à l'infrarouge moyen (0,6-28,3 μm). Le télescope doit être maintenu extrêmement froid, en dessous de 50 K, pour observer les signaux faibles dans le spectre infrarouge sans interférence d'autres sources d'énergie thermique. Un bouclier à cinq couches le protège du réchauffement par le Soleil, la Terre et la Lune.

Si le JWST est principalement conçu pour l'astronomie dans le proche infrarouge, il peut également voir la lumière visible orange et rouge, ainsi que la région de l'infrarouge moyen, selon les instruments. Il peut détecter des objets jusqu'à 100 fois moins lumineux que Hubble, et des objets beaucoup plus anciens dans l'histoire de l'Univers, jusqu'au redshift $z \approx 20$ (environ 180 millions d'années après le Big Bang). À titre de comparaison, les premières étoiles se seraient formées entre $z \approx 30$ et $z \approx 20$ (100-180 millions d'années apr. BB), et les premières galaxies pourraient s'être formées autour du redshift $z \approx 15$ (environ 270 millions d'années apr. BB). Hubble est incapable de voir plus loin qu'au tout début de l'ère de réionisation, vers $z \approx 11$ (400 millions d'années apr. BB).

La conception met l'accent sur l'infrarouge proche à moyen pour trois raisons principales :

- les objets à haut redshift (très lointains, proches du Big Bang) voient leurs émissions visibles décalées dans l'infrarouge, et leur lumière ne peut donc être observée aujourd'hui que par l'astronomie infrarouge ;
- c'est dans l'infrarouge qu'émettent abondamment les objets froids tels que les disques de débris circumstellaires et les planètes ;
- ces bandes infrarouges sont difficiles à étudier depuis le sol ou par les télescopes spatiaux existants tels que Hubble.

Le JWST peut également observer des objets proches, y compris des objets du Système solaire ne se déplaçant pas trop vite (une vitesse angulaire apparente de 0,030 seconde d'arc par seconde ou moins). Cela inclut toutes les planètes et tous les satellites, les comètes et les astéroïdes situés au-delà de l'orbite de la Terre, ainsi que pratiquement tous les objets connus de la ceinture de Kuiper. En outre, il peut observer des cibles apparaissant à l'improviste, avec un délai de 48 heures suivant une décision en ce sens, comme les supernovæ et les sursauts gamma.

Les instruments scientifiques sont au nombre de quatre : NIRCam, NIRSpec, MIRI et FGS/NIRISS.

- NIRCam (Near InfraRed Camera) est un imageur couvrant le rouge et le proche infrarouge et comprend 10 capteurs de 4 mégapixels chacun. NIRCam sert aussi pour l'alignement des segments du miroir principal.
- NIRSpec (Near InfraRed Spectrograph) réalise des observations spectrographiques dans la même gamme de longueurs d'onde.
- MIRI (Mid-InfraRed Instrument) s'occupe de la gamme de longueurs d'onde de 5 à 27 μm au moyen d'une caméra et d'un spectromètre imageur. Pour diminuer le fond thermique instrumental, la température de MIRI ne doit pas dépasser 6 K, ce qui est assuré par un système à hélium gazeux.
- FGS/NIRISS (Fine Guidance Sensor and Near Infrared Imager and Slitless Spectrograph) consiste en deux instruments montés dans une même unité mais servant des objectifs entièrement différents, l'un étant un instrument scientifique et l'autre faisant partie de l'infrastructure de soutien de l'observatoire. FGS est utilisé pour stabiliser le télescope pendant les observations, tandis que NIRISS effectue de l'imagerie et de la spectroscopie dans la gamme de longueurs d'onde de 0,8 à 5 μm .

Premières observations de Webb

Les premières observations de Webb ont été sélectionnées par un groupe de représentants de la NASA, de l'ESA, de l'ASC et du Space Telescope Science Institute. Elles révèlent les capacités des quatre instruments scientifiques de pointe de Webb.

- **SMACS 0723** : Webb a livré l'image infrarouge la plus profonde et la plus nette de l'univers lointain jusqu'à présent – et ce, en seulement 12,5 heures. Il s'agit d'un amas de galaxies produisant un effet de lentille gravitationnelle et permettant ainsi de voir certaines des galaxies les plus lointaines jamais détectées. Cette image ne fait qu'effleurer la surface des capacités de Webb à étudier les champs profonds et à retracer les galaxies jusqu'au début des temps cosmiques.
- **Nébuluse de l'anneau austral** : Cette nébuluse planétaire, un nuage de gaz en expansion qui entoure une étoile mourante, se trouve à environ 2 000 années-lumière. Les yeux infrarouges de Webb permettent de voir la seconde étoile mourante du système et d'explorer la structure des coquilles de poussière et de gaz.
- **Le quintette de Stephan** : Webb montre avec des détails sans précédent la manière dont les interactions entre galaxies proches perturbent les nuages de gaz et déclenchent la formation d'étoiles.
- **Nébuluse de la Carène** : Les « falaises cosmiques » de la nébuluse de la Carène révèlent les brèves premières phases de la formation d'étoiles.
- **WASP-96b** : En même temps que les premières images, le premier spectre pris par Webb a été dévoilé, celui de l'atmosphère d'une exoplanète, WASP-96b, révélant la signature distincte de l'eau.

La clarté du signal obtenu pour WASP-96b laisse entrevoir le rôle important que Webb jouera dans la recherche de planètes potentiellement habitables dans les années à venir. Près d'un quart du temps lors du premier cycle d'observation de Webb est consacré à l'étude des exoplanètes et des matériaux qui les forment.

Alors que le télescope spatial Hubble a analysé de nombreuses atmosphères d'exoplanètes au cours des deux dernières décennies, signant la première détection claire de l'eau en 2013, l'observation de Webb marque un pas de géant dans la quête de caractérisation des planètes potentiellement habitables au-delà de la Terre.

WASP-96 b est l'une des plus de 5 000 exoplanètes confirmées dans la Voie lactée. Située à environ 1 150 années-lumière dans la constellation australe du Phœnix, elle représente un type de géante gazeuse qui n'a pas d'analogue direct dans le Système solaire. Sa masse est moins de la moitié de celle de Jupiter et son diamètre est de 20% supérieur à celui de notre planète géante. Sa température dépasse les 500°C. WASP-96 b tourne très près d'une étoile semblable au Soleil, à un neuvième de la distance Mercure-Soleil, et effectue son circuit en 3 jours et demi.

Alors que la courbe de lumière confirme les propriétés de la planète qui avaient déjà été déterminées par d'autres observations – l'existence, la taille et l'orbite de la planète – le spectre de transmission révèle des détails de l'atmosphère jusqu'alors cachés : la signature sans ambiguïté de l'eau, des indications de brume et des preuves de l'existence de nuages que l'on ne soupçonnait pas.

Le spectre de WASP-96 b couvre une gamme remarquablement large de longueurs d'onde, dont une partie, au-delà de 1,6 micron, que ne pouvaient observer les autres télescopes. Ce domaine est particulièrement précieux pour l'étude de l'eau ainsi que d'autres molécules clés comme l'oxygène, le méthane et le dioxyde de carbone, qui ne sont pas immédiatement évidentes dans le spectre de WASP-96 b mais qui devraient être détectables dans d'autres exoplanètes ciblées par Webb.

Les chercheurs pourront aussi estimer la température de l'atmosphère en fonction de la profondeur et utiliser toutes ces informations pour faire des déductions sur la composition globale de la planète, ainsi que sur sa formation.

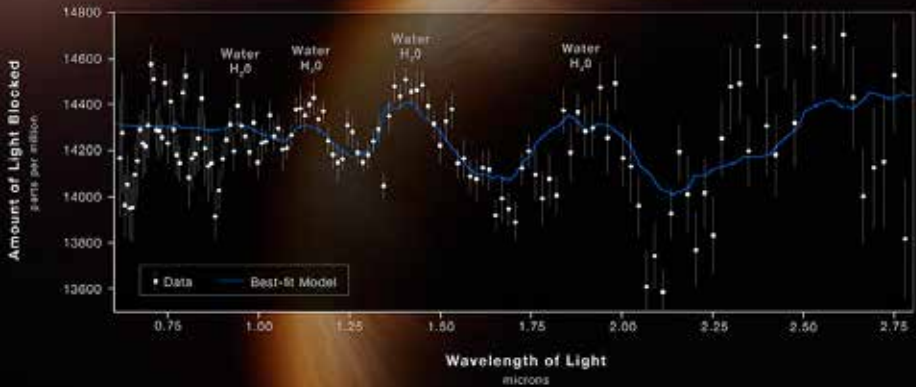
Le spectre extraordinairement détaillé – obtenu par l'analyse simultanée de 280 spectres individuels capturés au cours de l'observation – ne donne qu'un aperçu de ce que Webb réserve pour l'étude des exoplanètes. Au cours de l'année à venir, les chercheurs utiliseront la spectroscopie pour analyser les surfaces et les atmosphères de plusieurs dizaines d'exoplanètes, des petites planètes rocheuses aux géantes riches en gaz et en glace.

NIRISS a observé le système WASP-96 pendant 6,4 heures alors que la planète transitait devant l'étoile. Il a ainsi obtenu la courbe de lumière montrant l'atténuation globale de la lumière de l'étoile pendant le transit, et un spectre entre 0,6 et 2,8 microns.

La ligne bleue est le modèle basé sur les données, les propriétés connues de WASP-96 b et de son étoile (par exemple, la taille, la masse, la température), et les caractéristiques supposées de l'atmosphère. (NASA, ESA, CSA et STScI)

HOT GAS GIANT EXOPLANET WASP-96 b ATMOSPHERE COMPOSITION

NIRISS | Single-Object Slitless Spectroscopy



WEBB
SPACE TELESCOPE



L'anneau austral (NGC 3132) vu par NIRCam (à gauche) et MIRI

Les nébuleuses planétaires sont des coquilles de gaz et de poussière éjectées par des étoiles mourantes. Webb permet de voir la seconde étoile au centre de cette nébuleuse, ainsi que les structures complexes créées dans le gaz et la poussière qui les entourent. La plupart des autres objets de ces images sont des galaxies.

Cette observation montre la nébuleuse de l'anneau austral presque de face. Si nous pouvions la faire pivoter pour la voir exactement de face, elle ressemblerait davantage à deux bols placés l'un contre l'autre, s'ouvrant l'un vers l'autre avec un grand trou au centre.

L'image de MIRI montre pour la première fois que la seconde étoile est entourée de poussière. L'étoile la plus brillante est à un stade précoce



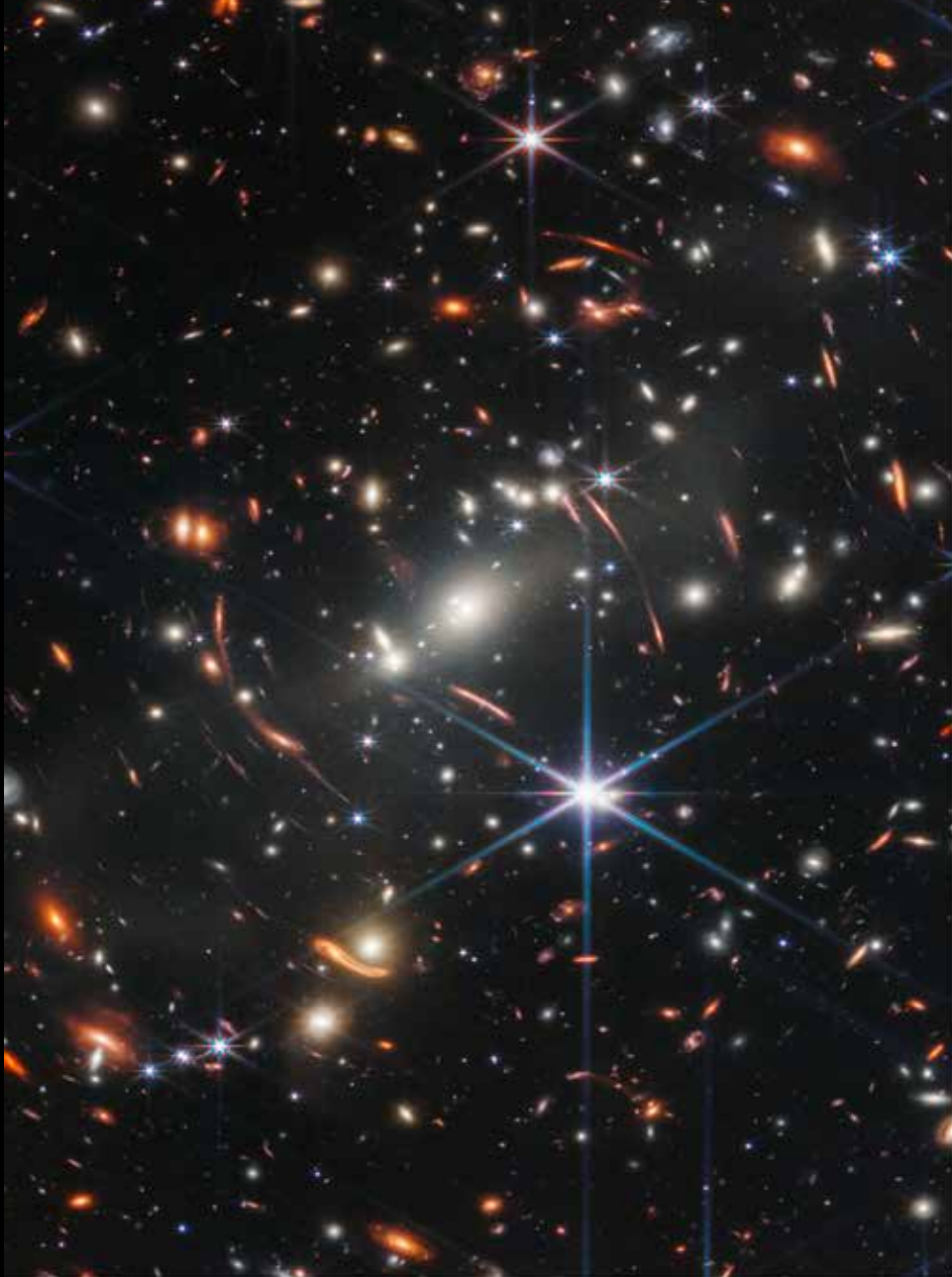
(NASA, ESA, CSA, and STScI)

de son évolution et éjectera probablement sa propre nébuleuse planétaire dans le futur. En attendant, elle influe sur l'apparence de la nébuleuse. En continuant à tourner l'un autour de l'autre, les deux astres remuent le gaz et les poussières, provoquant des motifs asymétriques.

Chaque coquille représente une éjection de matière par l'étoile la plus faible. Celles qui sont les plus proches de l'étoile sont les plus

récentes. Le suivi de ces éjections permet aux chercheurs d'étudier l'histoire du système. Les observations réalisées avec NIRCam révèlent de fins rayons lumineux provenant des étoiles et s'échappant par des trous dans les enveloppes.

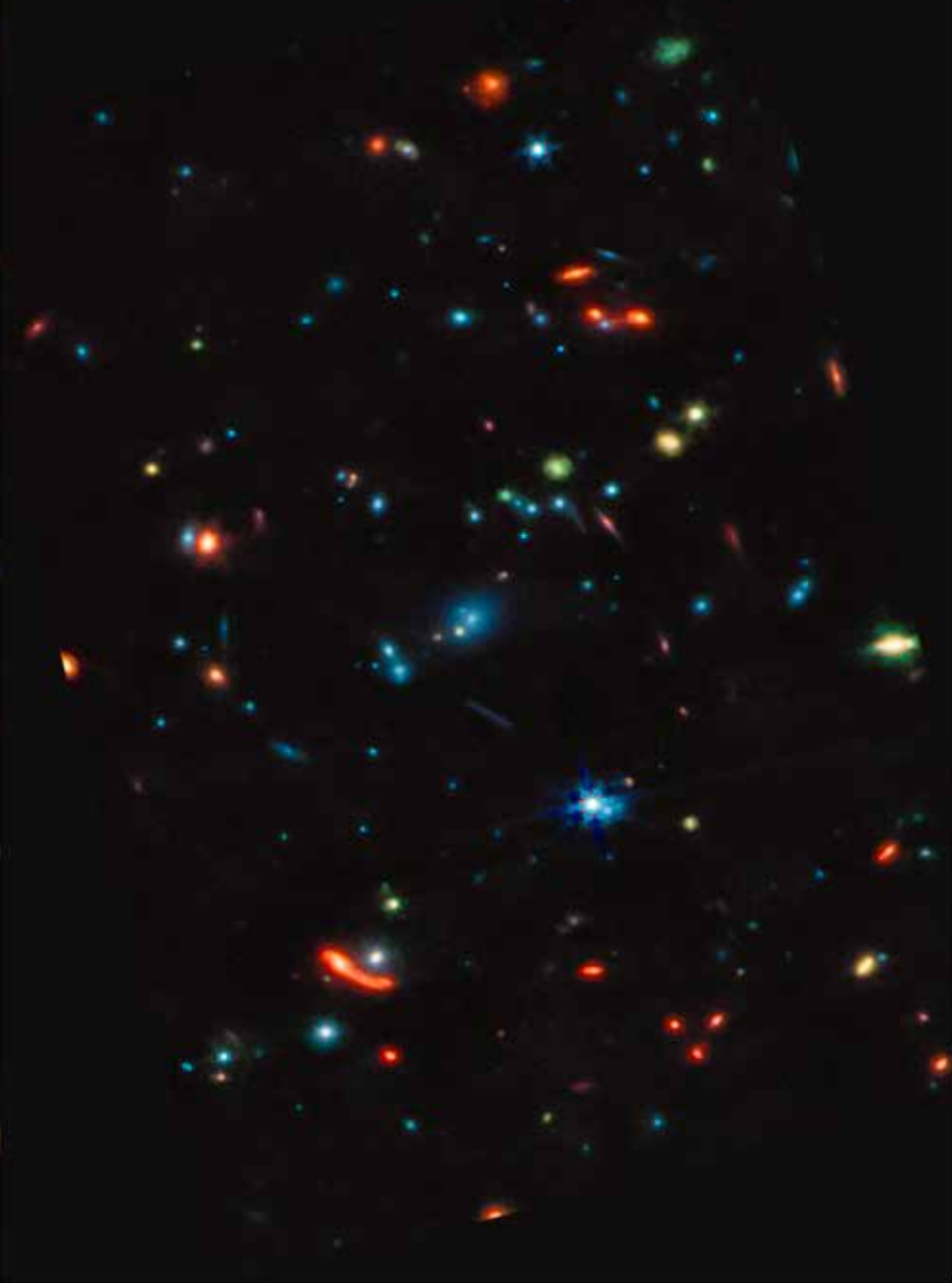
Dans des milliers d'années, ces délicates couches de gaz et de poussière se dissiperont dans l'espace environnant.



SMACS 0723

L'amas de galaxies est vu ici dans l'infrarouge moyen (MIRI, à droite) et dans l'infrarouge proche, (NIRCam, à gauche).

Les arcs proéminents sont les images de galaxies d'arrière-plan étirées et agrandies par l'effet de lentille gravitationnelle de l'amas. Elles apparaissent en bleu sur l'image MIRI et en orange sur l'image prise dans l'infrarouge proche.



Comme pour les télescopes d'amateur, les objets ponctuels montrent des figures de diffraction dues au tripode supportant le miroir secondaire. Ce sont donc des étoiles. Les galaxies, même brillantes, ne présentent pas ces figures.

La variété des couleurs trahit la distance des galaxies et la proportion de poussières qu'elles contiennent. Plus il y en a, plus la galaxie est rouge.

(NASA, ESA, CSA, and STScI)

Le Quintette de Stephan (Hickson 92)

MIRI nous montre des détails jamais vus auparavant du quintette de Stephan, un regroupement visuel de cinq galaxies. MIRI a percé les régions masquées par des poussières pour révéler d'énormes ondes de choc et des vagues de marée : du gaz et des étoiles arrachés aux régions extérieures des galaxies par les interactions. Il a également dévoilé des zones cachées de formation d'étoiles. Les nouvelles informations fournies par MIRI donnent un aperçu inestimable de la façon dont les interactions galactiques ont pu régir l'évolution des galaxies au début de l'Univers.

Dans cette image, le rouge indique les régions poussiéreuses et productrices d'étoiles, ainsi que les galaxies précoces extrêmement lointaines et les galaxies enveloppées d'une épaisse poussière. Les sources ponctuelles bleues sont des étoiles ou des amas d'étoiles sans poussière. Les zones diffuses de couleur bleue indiquent la présence de poussières contenant une quantité importante de grosses molécules d'hydrocarbures. Pour les petites galaxies d'arrière-plan dispersées dans l'image, les couleurs verte et jaune représentent des galaxies plus lointaines et plus anciennes qui sont également riches en hydrocarbures.

La galaxie du haut, NGC 7319, abrite un trou noir supermassif dont la masse est 24 millions de fois celle du Soleil. Il accrète activement de la matière et émet une énergie lumineuse équivalente à 40 milliards de soleils. MIRI voit à travers la poussière entourant ce trou noir pour dévoiler un noyau galactique actif d'une luminosité saisissante.

MIRI a révélé une mer de galaxies d'arrière-plan rappelant les champs profonds de Hubble.

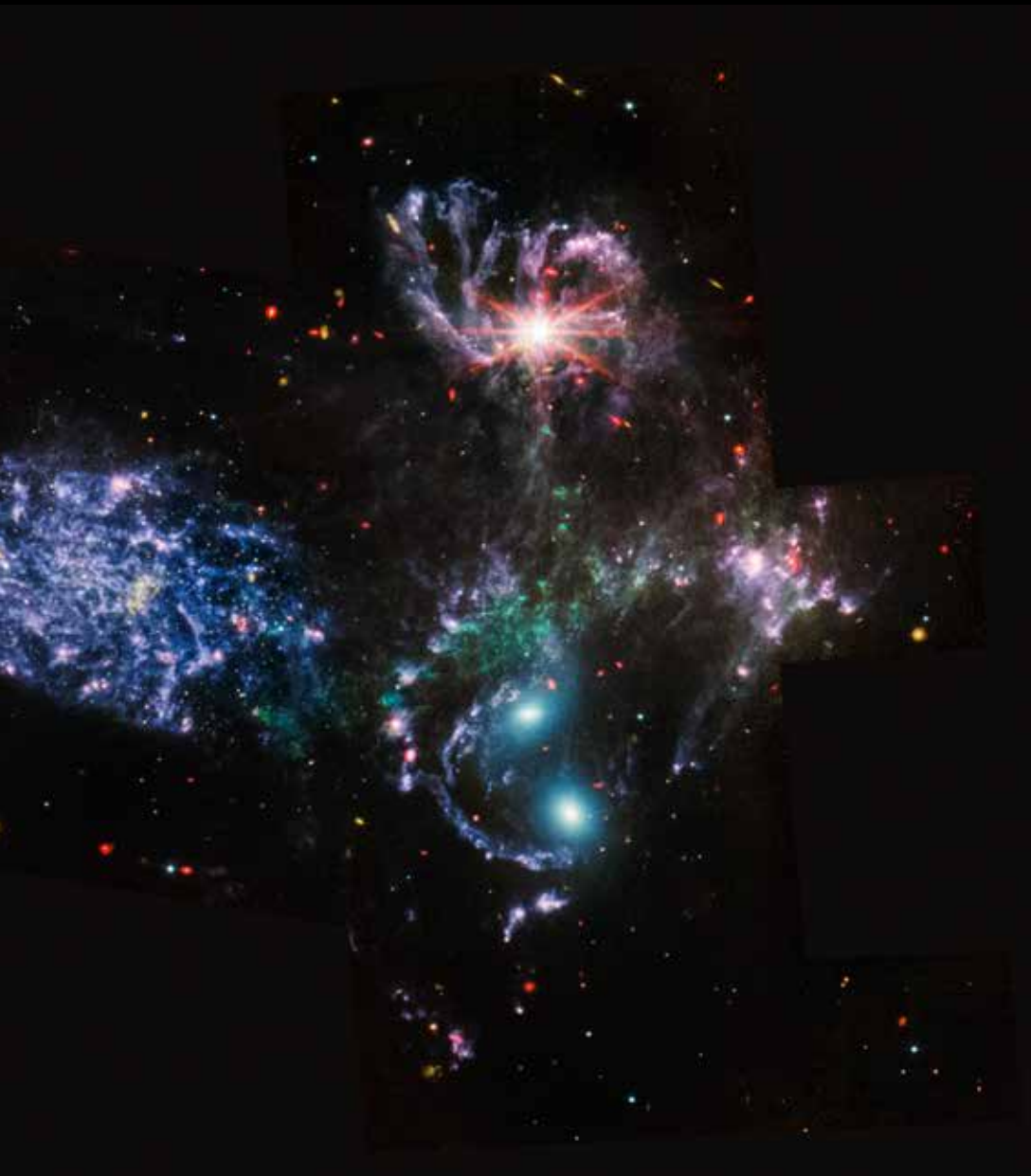
Seules quatre des cinq galaxies sont réellement intimement liées dans une danse cosmique. La cinquième galaxie, la plus à gauche, NGC 7320, est beaucoup plus proche de nous, à 40 millions d'années-lumière.

Cette proximité permet aux astronomes d'être aux premières loges pour assister à la fusion et aux interactions entre les galaxies, qui sont cruciales pour leur évolution. Il est rare que les scientifiques voient avec autant de détails comment les galaxies en interaction déclenchent la formation d'étoiles les unes chez les autres, et comment le gaz de ces galaxies est perturbé. Le quintette de Stephan est un laboratoire fantastique pour étudier ces processus fondamentaux pour toutes les galaxies.

Des groupes serrés comme celui-ci étaient peut-être plus fréquents au début de l'Univers, lorsque leur matière alimentait des trous noirs très énergétiques, des quasars.

(NASA, ESA, CSA, and STScI)







La nébuleuse de la Carène

La combinaison des données de NIRC*am* et MIRI a permis de créer cette vue inédite d'une région de formation d'étoiles dans la nébuleuse de la Carène. Ce qui ressemble à des montagnes escarpées par un soir de lune est le bord de la région de formation stellaire NGC 3324. Ces « falaises cosmiques » se trouvent à environ 7 600 années-lumière de nous.

La cavité a été creusée dans la nébuleuse par le rayonnement ultraviolet intense et les vents stellaires des étoiles jeunes, massives

et chaudes situées au centre de la bulle, au-dessus de la zone représentée sur cette image. Le rayonnement à haute énergie de ces étoiles sculpte la paroi de la nébuleuse en l'érodant lentement. Des zones plus denses résistent à cette érosion.

NIRC*am* – avec sa grande résolution et sa sensibilité inégalée – dévoile des centaines d'étoiles jusqu'ici cachées, et même de nombreuses galaxies de fond. Dans la vue de MIRI, les jeunes étoiles et leurs disques poussiéreux de formation de planètes brillent dans l'infrarouge moyen, apparaissant en rose et en



(NASA, ESA, CSA, et STScI)

rouge. MIRI révèle les structures enfouies dans la poussière et met en évidence les sources stellaires des jets et des écoulements massifs. Avec MIRI, la matière organique, semblable à de la suie, brille à la surface des crêtes, donnant l'apparence de roches déchiquetées.

La vapeur qui semble s'élever au-dessus de ces falaises célestes est en fait du gaz chaud et ionisé et de la poussière chaude qui s'échappent de la nébuleuse sous l'effet d'un intense rayonnement ultraviolet.

Les jets et les écoulements protostellaires, qui apparaissent en doré, jaillissent des

étoiles naissantes enveloppées de poussière. MIRI permet d'en découvrir les sources. Par exemple, un objet à gauche, qui ressemble à une comète avec NIRCam, est révélé par MIRI comme provenant d'un bébé-étoile enveloppé de poussière.

NGC 3324 a été cataloguée pour la première fois par James Dunlop en 1826. Visible depuis l'hémisphère sud, elle est située à l'angle nord-ouest de la nébuleuse de la Carène. Celle-ci abrite la nébuleuse du Trou de serrure et l'étoile supergéante active et instable Eta Carinae.