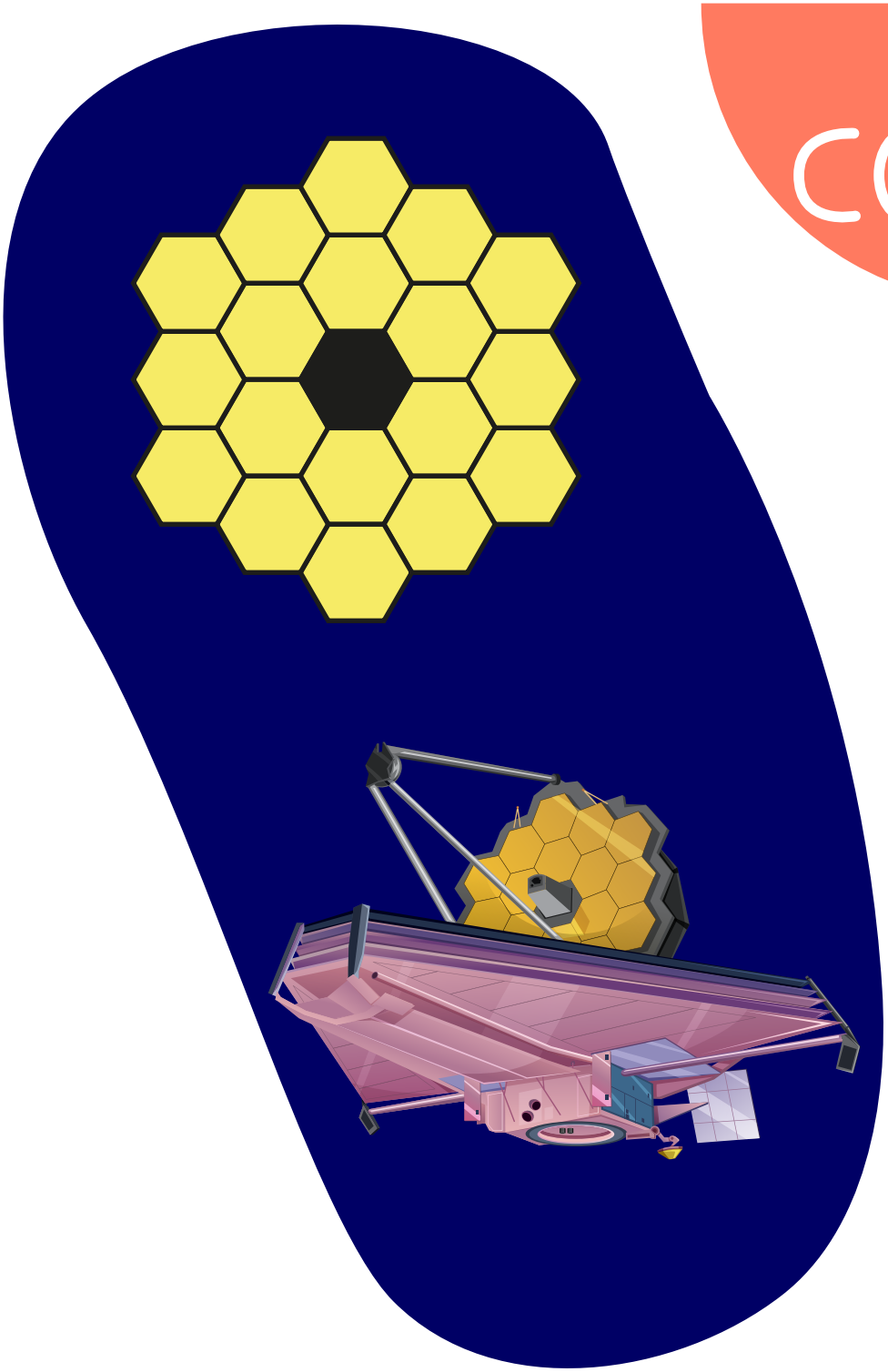
ASTRES EN COURS



LE TÉLESCOPE SPATIAL... JAMES WEBB - LANCEMENT, RESULTATS

N°6b

cité sciences et industrie
Palais DÉCOUVERTE

AOUT 2024
DOSSIER PEDAGOGIQUE ASTRONOMIE

EDITO

Ce numéro de la gazette *Astres en cours* s'adresse aux enseignants, aux éducateurs mais également à tous les curieux des choses du ciel.

Le télescope spatial *James Webb*, avec son miroir de 6,5 m de diamètre, est l'instrument de tous les superlatifs. Dans le premier document de ce sixième numéro de la gazette *Astres en cours*, nous vous avons fait découvrir sa longue histoire, ses objectifs scientifiques et les quatre instruments qu'il embarque.

Dans ce deuxième document, nous verrons comment son déploiement dans l'espace, véritable prouesse technologique, et sa mise en orbite autour d'un point situé à 1,5 millions de kilomètres de la Terre se sont admirablent bien déroulés. Nous ferons le point sur les premiers résultats scientifiques qu'il a permis d'obtenir tout en mettant en valeur les splendides photographies qu'il nous envoie régulièrement.

Département Éducation et Formation
Universcience
educ-formation@universcience.fr

SOMMAIRE

1 UN DECOLLAGE PARFAIT Page 4

2 EN ROUTE VERS L2 ! Page 5

3 LE DEPLOIEMENT Page 8

4 LES PREMIERES IMAGES Page 16

5 ET DEPUIS... Page 18

1 UN DECOLLAGE PARFAIT

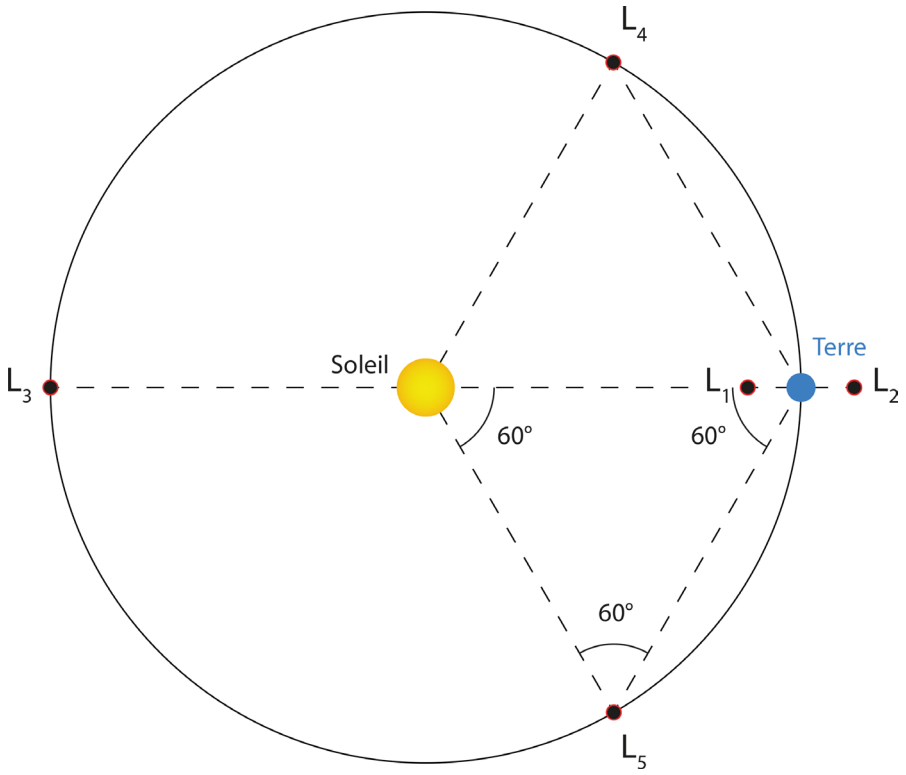
Après trois décennies de travail intensif, de retards et de menaces d'annulation, le télescope spatial *James Webb* (JWST) est enfin sur le pas de tir, grâce à un exceptionnel travail collectif d'ingénierie.

En ce 25 décembre 2021, placé sous la coiffe d'une fusée Ariane 5, le télescope de 6,2 tonnes s'apprête à quitter le sol du Centre spatial guyanais de Kourou et à entamer son voyage d'un mois qui l'aménera au point de Lagrange L_2 du système Soleil-Terre.
La vidéo officielle de l'événement, du lancement jusqu'à la séparation du JWST avec le 2e étage du lanceur, est consultable ici :
https://www.youtube.com/watch?v=7nT7JGZMbtM

25 décembre 2021, 13h20 heure française : Ariane 5 s'élève et emporte son précieux chargement vers l'espace. Crédit : NASA / Bill Ingalls.

2 EN ROUTE VERS L2 !

Joseph-Louis Lagrange (1736-1813) était un mathématicien, physicien et astronome de tout premier plan. Né italien, il fut naturalisé français en 1802. Il a montré que, dans le cas du système Terre-Soleil, il existait cinq points, dits *points de Lagrange*, où l'attraction solaire et l'attraction terrestre exercées sur un corps de masse négligeable sont exactement compensées par la force centrifuge qu'il subit.



Un satellite situé en l'un de ces cinq points tournerait de concert avec la Terre autour du Soleil.

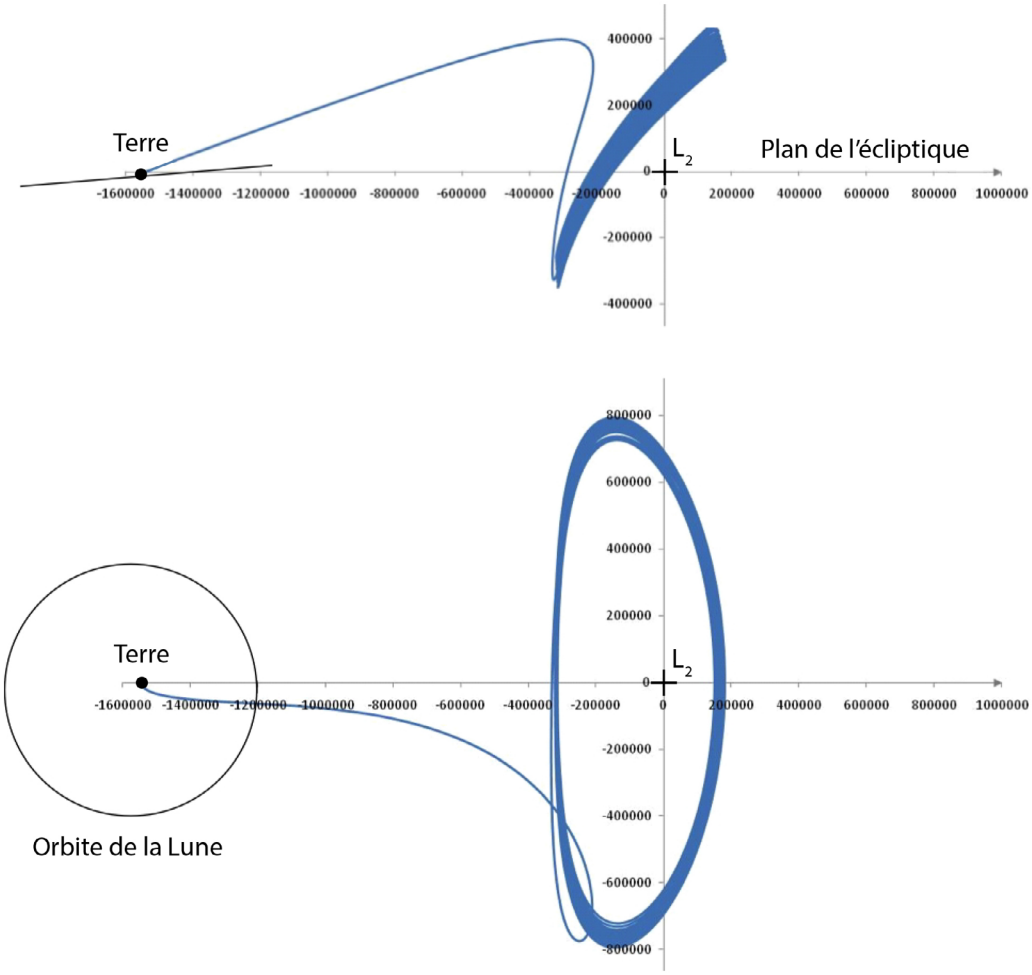
L_4 et L_5, dont la positioin précède ou suit la Terre sur son orbite de 60°, **sont stables** : un objet qui se trouverait à proximité pourrait demeurer longtemps dans son voisinage. Ainsi, les abords des points de Lagrange L_4 et L_5 du système Soleil-Jupiter sont occupés par des milliers d'astéroïdes appelés *troyens*.

L_1, L_2 et L_3 sont instables : leurs voisinages sont naturellement vides mais ils peuvent être utilisés par des missions spatiales moyennant des corrections d'orbite, peu dispendieuses en carburant.

Bien que L_1, L_2 et L_3 soient instables, il existe des orbites quasi-périodiques autour de ces points, que l'on appelle des *orbites de Lissajous*.

Le JWST tourne autour du point L_2, qui se trouve à environ 1,5 million de kilomètres de la Terre, dans la direction opposé au Soleil. Il suit une orbite de Lissajous à une distance comprise entre 250 000 et 832 000 km de ce point, avec une période proche de six mois. Le JWST peut ainsi s'éloigner de 520 000 km du plan de l'écliptique – le plan dans lequel la Terre tourne autour du Soleil.

Pour se maintenir sur son orbite instable, il actionne ses propulseurs pendant quelques dizaines de secondes toutes les trois semaines en moyenne, si besoin.



Trajet du télescope James Webb depuis son lancement jusqu'à sa mise en orbite autour du point L_2, dans un repère tournant lié à la Terre. Une dizaine d'orbites sont présentées. L'illustration du dessus propose une vue dans le plan de l'écliptique et celle du dessous, la projection des orbites dans le plan de l'écliptique. Notez combien elles sont loin d'être planes !

L_3, L_4 et L_5 ne sont pas exploités en tant que destination pour les satellites artificiels car ils sont trop éloignés. L_3 pourrait l'être à moyen terme par une mission à but très spécifique qui pourrait, par exemple, détecter les zones solaires actives avant que, emportées par la rotation du Soleil, elles ne se tournent vers la Terre.

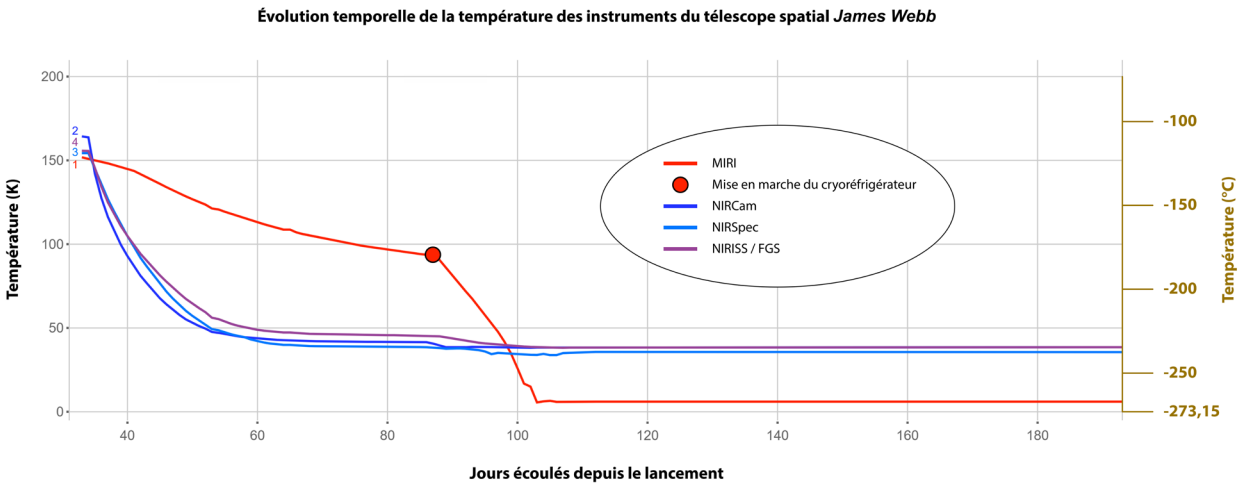
L_1 est un lieu idéal pour observer l'hémisphère éclairé de la Terre (mission *DSCOVR*) et le Soleil (missions *SOHO*, *Wind*, *Aditya-L1*, *ACE*).

L_2 est un lieu privilégié choisi pour les observatoires spatiaux comme *Herschel*, *Planck*, *Gaia*, *Euclid*... et le JWST.

L_2 est l'endroit rêvé pour le JWST

Étant donné que le JWST tourne autour du point L_2, il conserve approximativement la même position relative vis-à-vis du Soleil, de la Terre et de la Lune. De plus, depuis ce point, ces trois astres sont relativement proches en direction dans le ciel. Il est donc assez facile de protéger le JWST des rayonnements qu'ils émettent conjointement dans le domaine infrarouge, grâce à un grand bouclier thermique.

En outre, l'orbite du télescope est telle que jamais il ne pénètre dans les cônes d'ombre ou de pénombre de la Terre et de la Lune. Toujours éclairé par le Soleil, le JWST n'est donc pas soumis à des variations de température qui pourraient lui être très préjudiciables... sans oublier que ses panneaux solaires ont un besoin impératif et constant des rayons du Soleil pour le faire fonctionner !



Le déploiement du bouclier thermique fait progressivement descendre la température des instruments. La mise en route du cryoréfrigérateur donne à MIRI le coup de pouce indispensable à son bon fonctionnement.
D'après https://webb.nasa.gov/content/webbLaunch/whereIsWebb.html?units=metric.

3 LE DEPLOIEMENT

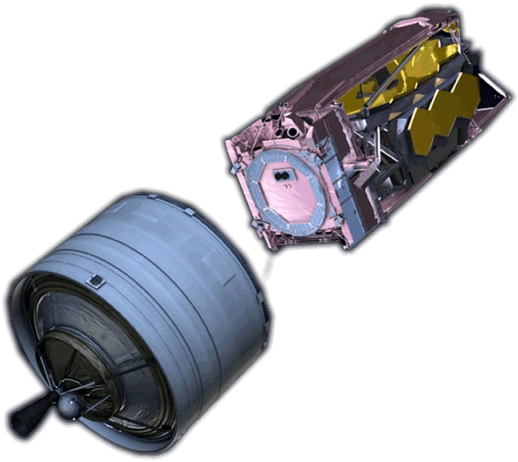
Entre son décollage le 25 décembre 2021 et sa mise en orbite autour du point L_2 le 24 janvier 2022, le JWST a suivi une séquence de déploiement extrêmement complexe.

L'intégralité des étapes est disponible en vidéo ici :

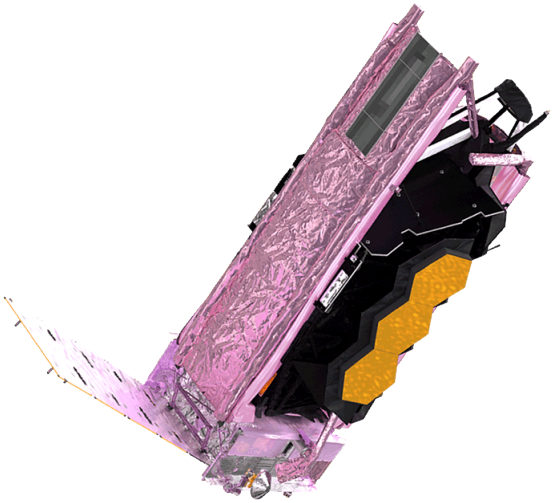
https://webbtelescope.org/contents/media/videos/1058-Video.

Bien calé sous la coiffe d'une fusée *Ariane 5*, le télescope spatial *James Webb* est complètement replié.

Il est 13 h 20 (heure française) en ce 25 décembre 2021 : décollage !

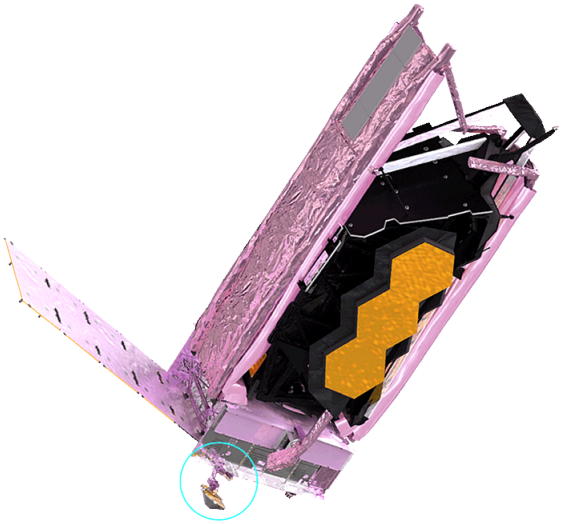


Décollage + 27 minutes
L'étage supérieur du lanceur libère le télescope, désormais livré à lui-même.

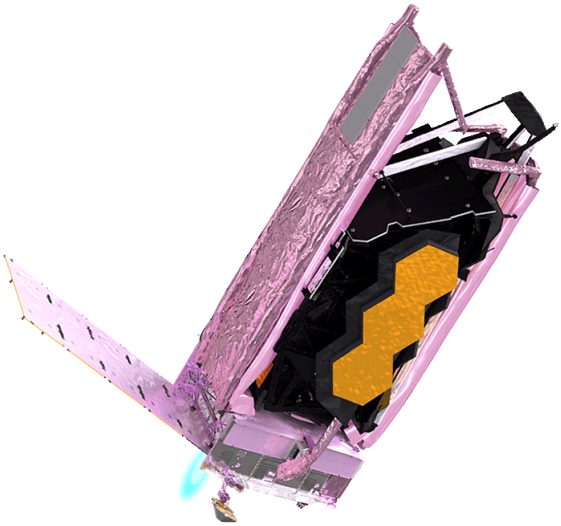


Décollage + 33 minutes
Déploiement automatique du panneau solaire qui alimente le télescope en énergie.

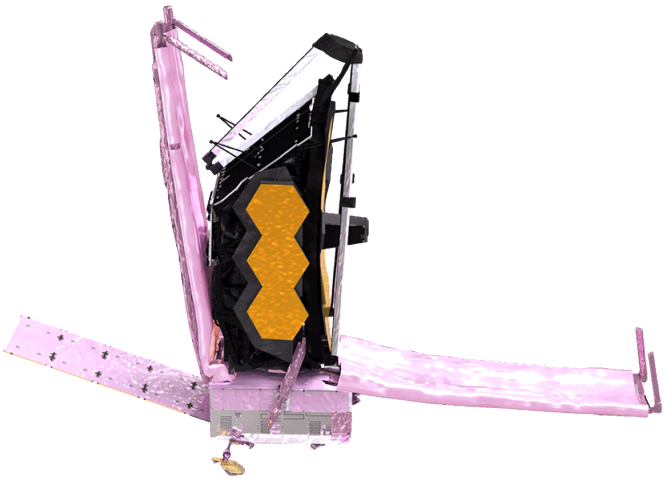
Décollage + 12,5 h
Allumage des propulseurs pour une première correction de trajectoire.



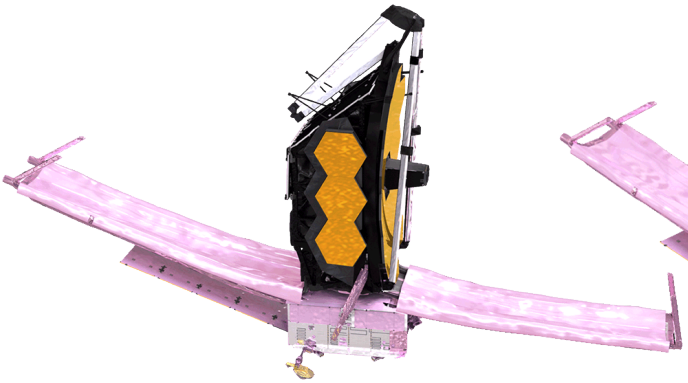
Décollage + 1 jour
Déploiement automatique des antennes de communication.



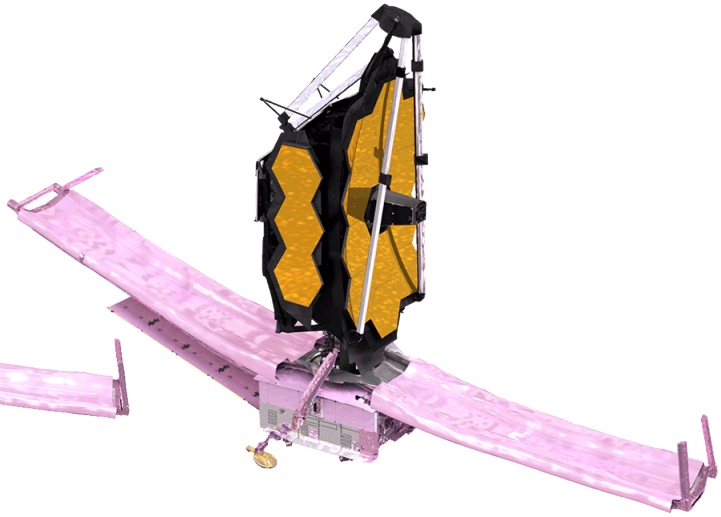
Décollage + 2 jours
Allumage des propulseurs pour une deuxième correction de trajectoire.



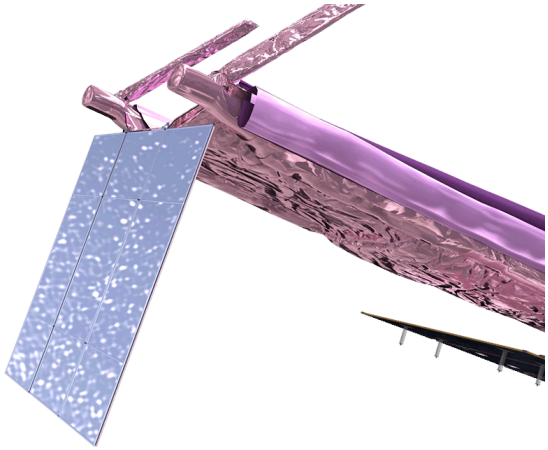
Décollage + 3 jours
Déploiement de la palette avant du bouclier thermique.



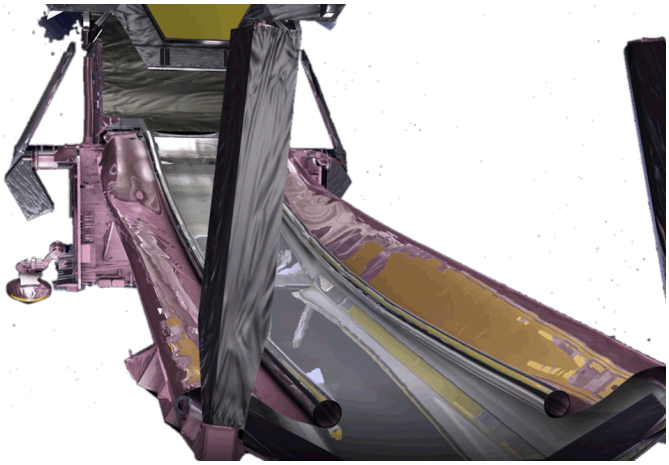
Décollage + 3 jours
Déploiement de la palette arrière du bouclier thermique.



Décollage + 4 jours
Déploiement de la tourelle de 1,22 m supportant l'optique. L'isolation thermique du télescope est optimisée. Place est faite pour l'extension du bouclier thermique.

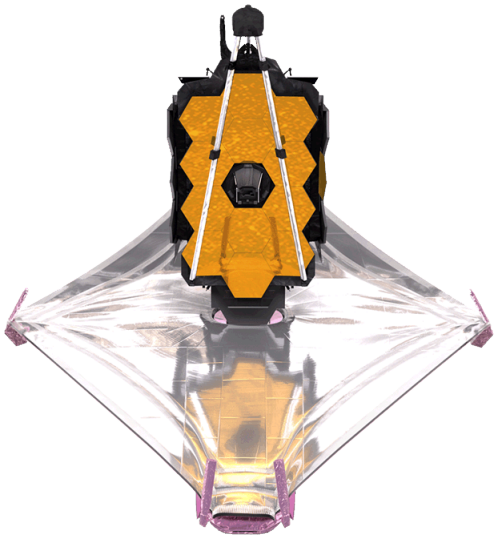


Décollage + 5 jours
Mise en place du volet arrière compensateur de moment, qui permet de stabiliser le télescope et donc de minimiser la consommation de carburant.



Décollage + 5 jours
Libération et rétraction de la membrane qui protège le bouclier thermique.

Décollage + 6 jours
Extension de la poutrelle latérale gauche permettant le déploiement du bouclier thermique.

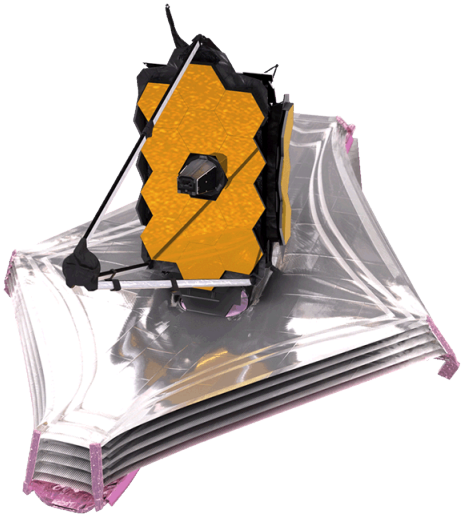


Décollage + 6 jours
Extension de la poutrelle latérale droite permettant le déploiement du bouclier thermique.

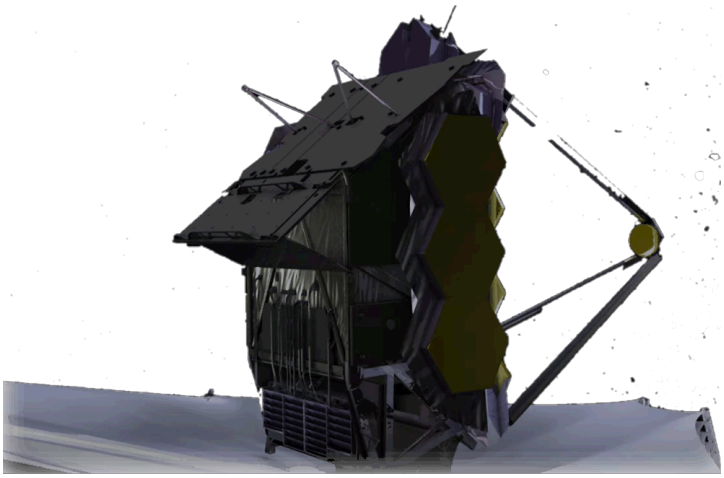
Décollage + 9 jours
Mise en tension de trois des cinq couches du bouclier thermique.

Décollage + 10 jours
Mise en tension des deux dernières couches du bouclier thermique.

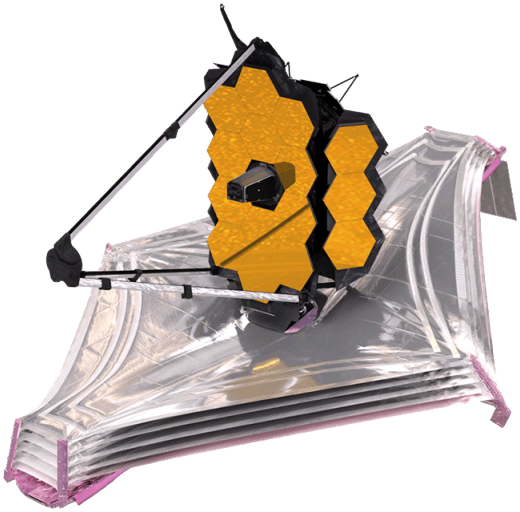
Décollage + 11 jours
La structure de support du miroir secondaire débute son déploiement.



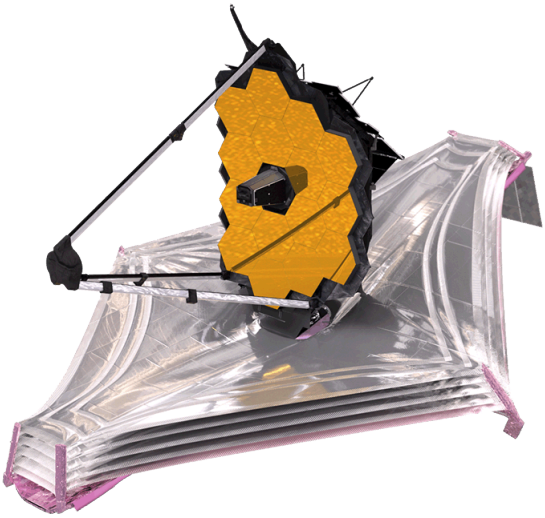
Décollage + 11 jours
La structure de support du miroir secondaire, longue de 7 m, est entièrement déployée et verrouillée.



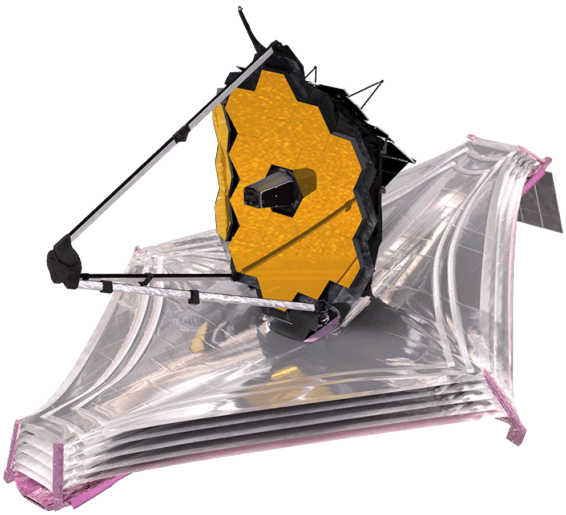
Décollage + 12 jours
La radiateur qui dissipera la chaleur dégagée par les instruments scientifiques se met en position finale.



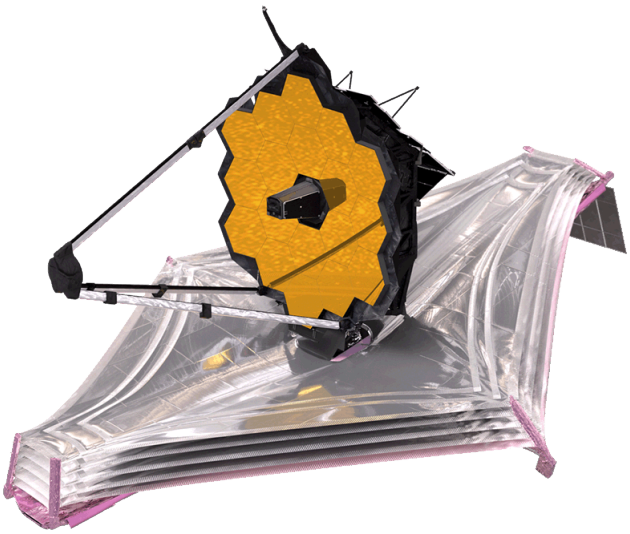
Décollage + 13 jours
L'aile gauche du miroir principal se déploie.



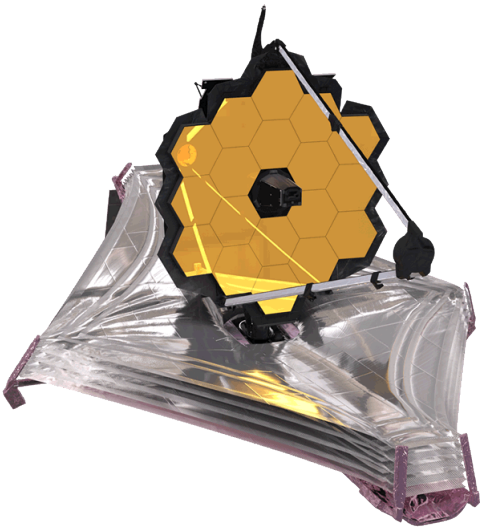
Décollage + 13 jours
L'aile gauche du miroir principal est entièrement déployée.



Décollage + 14 jours
L'aile droite du miroir principal se déploie.

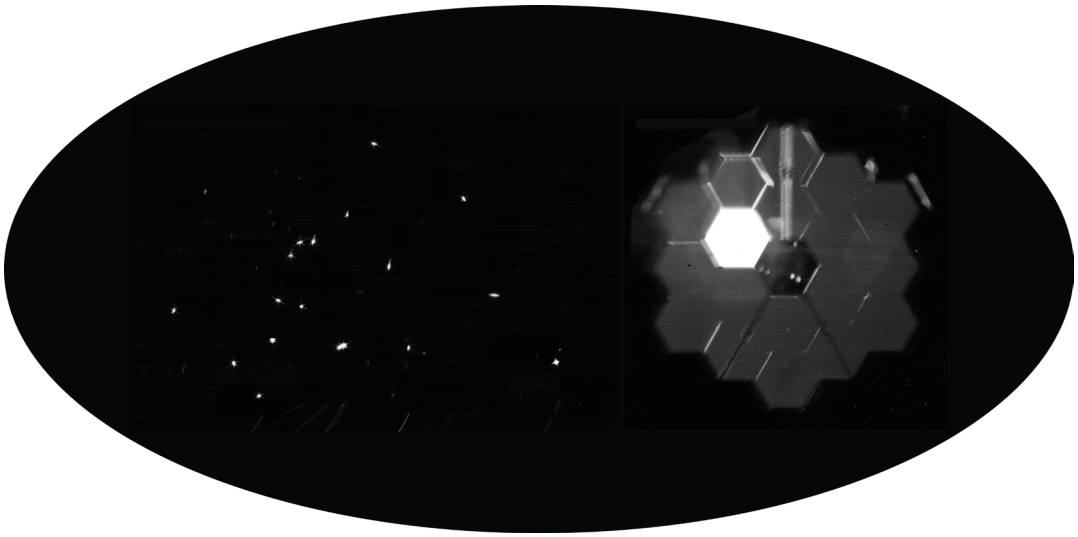


Décollage + 14 jours
L'aile droite du miroir principal est entièrement déployée.

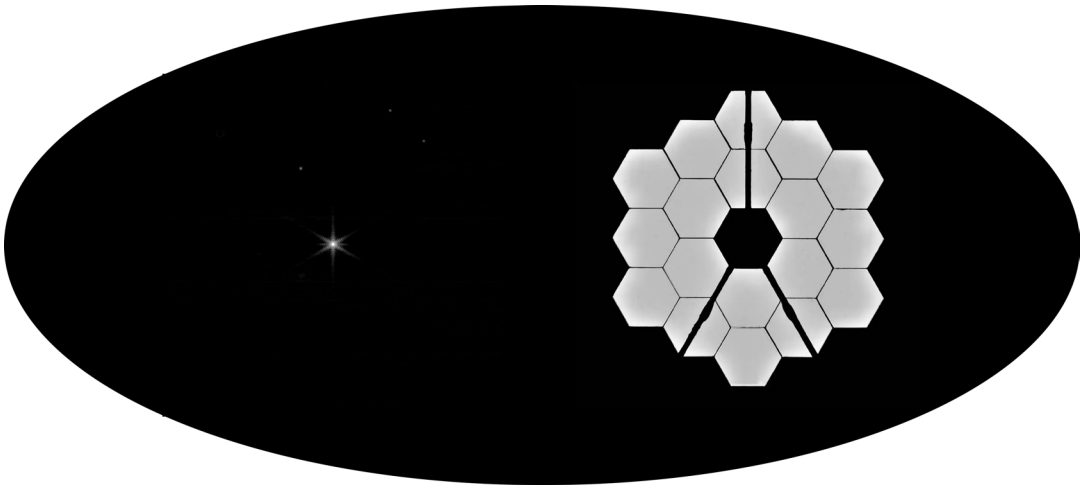


Décollage + 14 jours
Le télescope spatial *James Webb* est complètement déployé ! Peut-il déja se lancer dans des observations révolutionnaires ? Tant s'en faut...

En effet, le télescope dut d'abord poursuivre son voyage vers le point de Lagrange L_2 et cela lui prit deux semaines. Les cinq mois qui suivirent furent utilisés pour assurer l'alignement très précis des miroirs, calibrer les instruments… et patienter jusqu'à ce que le télescope atteigne sa température de fonctionnement.



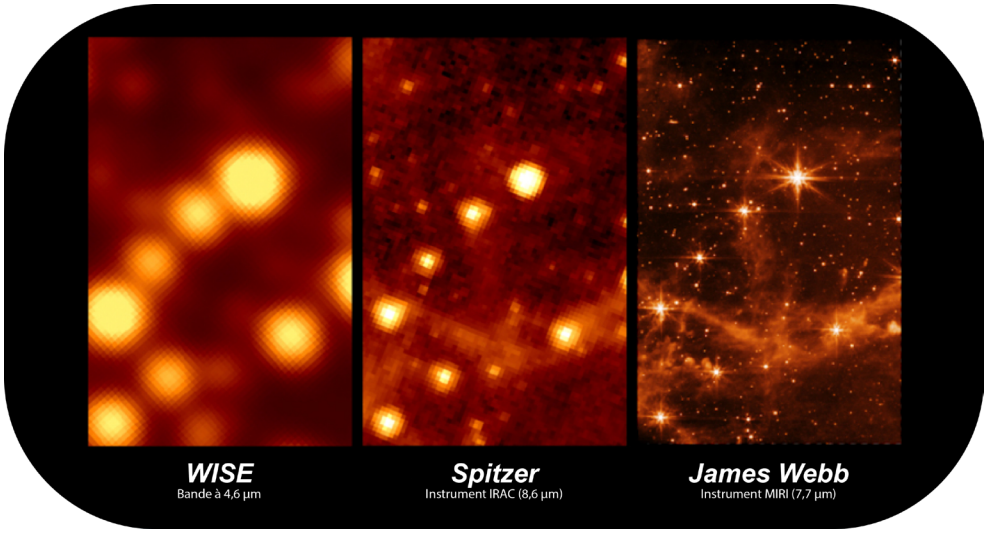
À gauche : avant leur alignement précis, chacun des 18 miroirs qui composent le miroir primaire du JWST renvoyait sa propre image de l'étoile test HD 84406.
À droite : selfie du miroir primaire pris par l'instrument NIRCam.
Crédit : https://www.flickr.com/photos/50785054@N03/51886277650/ et https://www.flickr.com/photos/50785054@N03/51885950254/.



À gauche : l'étoile test HD 84406 après l'alignement précis des miroirs.
À droite : selfie du miroir primaire pris par l'instrument NIRCam. Le JWST est fin prêt !
Crédit : https://www.flickr.com/photos/nasawebbtelescope/51903750754/in/gallery-195838910@N08-72157720871620806/ et https://www.flickr.com/photos/50785054@N03/51942282534/.

Toutes les phases de tests montrèrent que les performances du télescope dépassaient celles qui étaient prévues par le cahier des charges. Le JWST était un immense succès ! Les ingénieurs n'h'ésitèrent pas à affirmer que ses performances optiques étaient meilleures que les prédictions les plus optimistes.

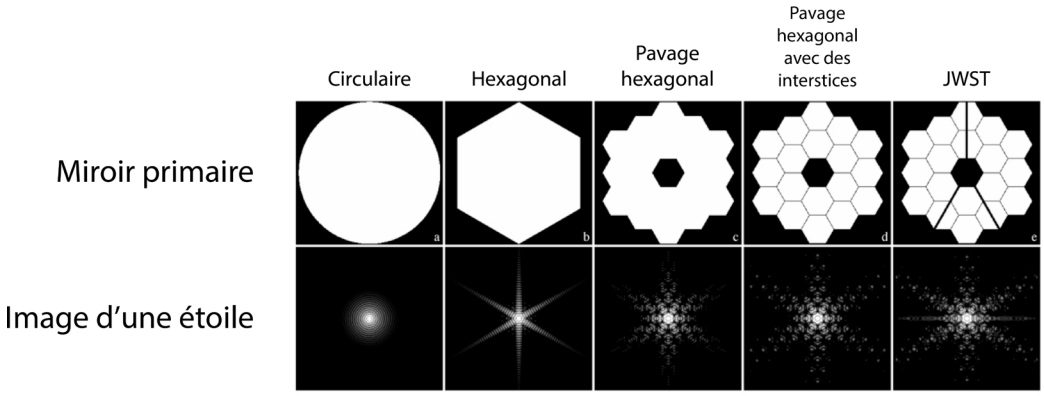
Comparons ainsi une même région du ciel (ici, une petite partie du Grand Nuage de Magellan, une galaxie naine satellite de la nôtre) photographiée dans l'infrarouge par *WISE* à 4,6 µm (lancé en 2009, miroir de 40 cm), *Spitzer* à 8,6 µm (2003-2020, miroir de 85 cm) et *James Webb* à 7,7 µm : « Il n'y a pas photo ! »



Le JWST surpasse très nettement ses prédécesseurs.
Crédit : compte X (Twitter) d'Andras Gaspar, membre de l'équipe MIRI.

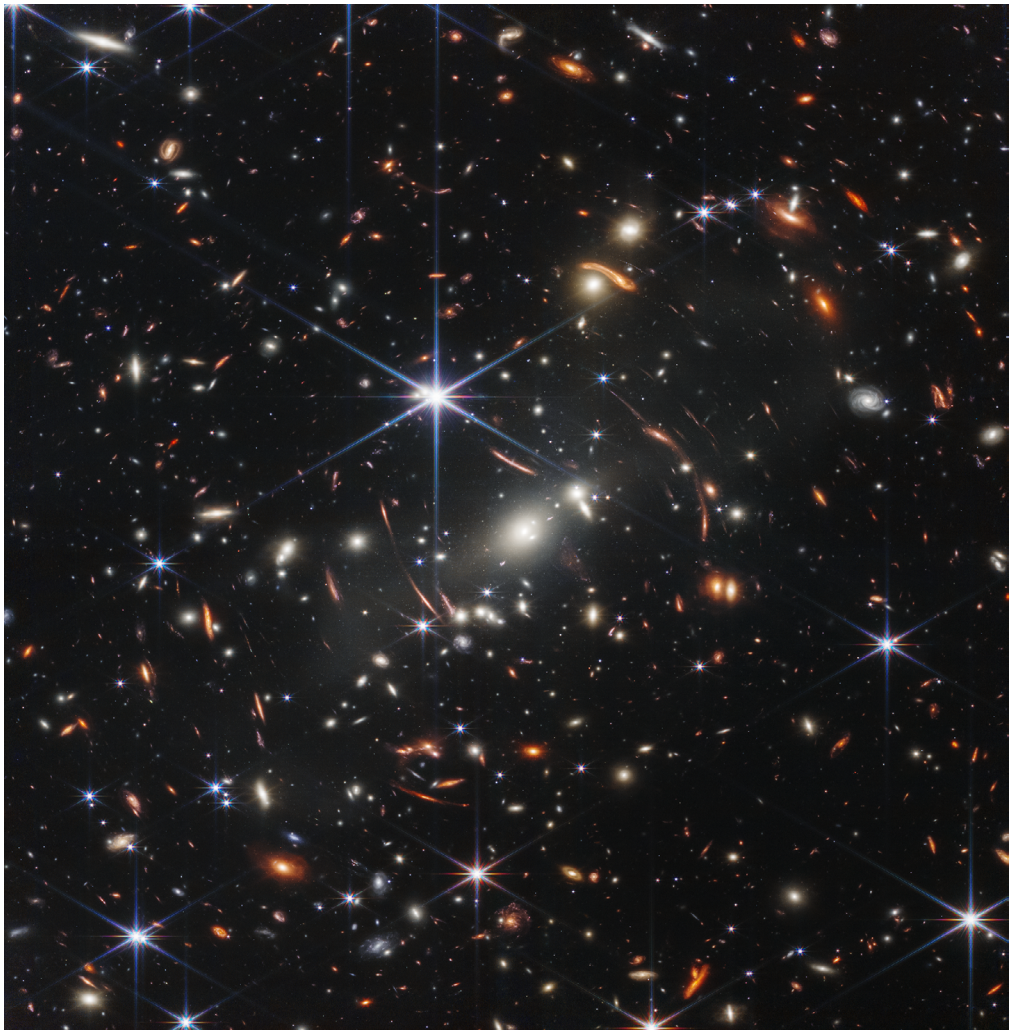
Un examen attentif de la photographie d'une étoile par le JWST vous montre que celle-ci est entourée de rayons que l'on appelle des aigrettes de diffraction.

Ce sont des artéfacts causés par la diffraction de la lumière sur les bords des 18 segments du miroir et sur la structure supportant le miroir secondaire.



4 LES PREMIERES IMAGES

Le 11 juillet 2022, depuis la Maison-Blanche et en présence du président des États-Unis d'Amérique Joe Biden, la NASA révéla la toute première image en couleurs de qualité scientifique prise par le JWST. Et quelle image ! L'amas de galaxies SMACS J0723.3-7327, que l'on trouve dans la constellation australe du Poisson volant, brille de mille feux à plus de 4 milliards d'années-lumière de nous. Sa masse est telle qu'elle courbe la lumière et modifie l'apparence des galaxies situées en arrière-plan, provoquant arcs et lentilles gravitationnels.



L'amas de galaxies SMACS J0723.3-7327. Cette photographie est constituée de plusieurs images prises à différentes longueurs d'onde par l'instrument NIRCam. Temps de pose : 12 h 30 m.

Quelques étoiles de notre propre galaxie s'invitent en avant-plan.

Crédit : https://webbtelescope.org/contents/media/images/2022/038/01G7JGTH21B5GN9V-CYAHBXKSD1.

Une image en couleurs ?

À la différence du JWST, nos yeux sont insensibles à l'infrarouge. Les images que ses instruments nous transmettent sont donc artificiellement colorées. La convention est généralement la suivante : les plus petites longueurs d'onde sont en violet et les plus grandes en rouge, comme dans le spectre visible.

Fait intéressant : pour l'instrument NIRCam, l'extrémité gauche du spectre (vers les courtes longueurs d'onde) correspond à des longueurs d'onde du visible. Bien qu'elles seraient perçues comme rouges, elles sont toujours représentées en violet.

Le lendemain (12 juillet 2022), quatre nouvelles images sont diffusées par la NASA :

- la nébuleuse planétaire **NGC 3132**. Il s'agit d'une coquille de gaz en expansion éjectée d'une étoile en fin de vie ;
- la **nébuleuse de la Carène**, une vaste zone complexe de nébulosités brillantes et sombres située à 8 500 années-lumière de nous ;
- le **Quintette de Stephan**, un groupe de cinq galaxies en interaction ;
- un spectre de l'exoplanète **WASP-96b**, une géante gazeuse tournant très près de son étoile et dans l'atmosphère de laquelle la signature de la vapeur d'eau a été détectée sans ambiguïté.

Détail de la nébuleuse de la Carène. Le rayonnement ultraviolet et les vents stellaires d'étoiles jeunes et massives, hors du cadre de l'image, ont creusé une cavité dans le gaz et les poussières de la nébuleuse. Nous voyons ici la bordure de cette cavité.

Crédit : https://webbtelescope.org/contents/media/images/2022/031/01G77PKB8NKR7S8Z6HBXMYATGJ.

5 ET DEPUIS...

Le système solaire

Le JWST produit à ce jour les images les plus détaillées des objets du système solaire externe (planètes et leurs satellites, astéroïdes et comètes), à l'exception, bien sûr, des images envoyées par les sondes spatiales ayant survolé ces corps célestes. Ses capacités spectroscopiques exceptionnelles lui permettent aussi de détecter, caractériser et mesurer l'abondance de nombreux gaz, glaces et minéraux grâce à sa couverture étendue du domaine infrarouge.

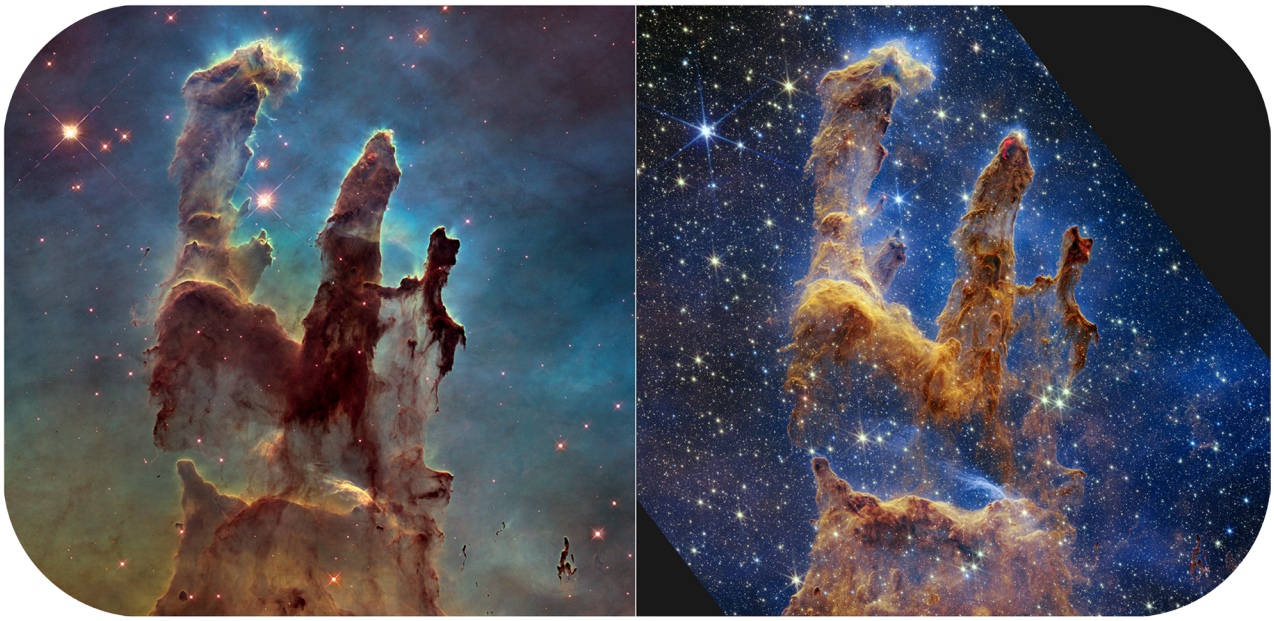
Jupiter dévoile beaucoup de détails dans cette image prise par l'instrument NIRCam. Les taches et autres traînées blanches sont probablement les sommets de nuages de haute alitude. Des aurores apparaissent en rouge au-dessus de ses régions polaires.
Crédit : https://webbtelescope.org/contents/media/images/2023/147/01HCX0ZV8AR4GMW49EK1SBWDYV.

Voici maintenant Saturne, Uranus et Neptune. Les planètes paraissent sombres dans l'infrarouge, car le méthane gazeux contenu dans leur atmosphère absorbe très efficacement le rayonnement solaire incident dans ce domaine de longueur d'onde. Les anneaux d'Uranus et de Neptune demeurent brillants et sont beaucoup plus évidents à déceler qu'en lumière visible.

En haut : Saturne. En bas : Uranus à gauche et Neptune à droite.
Crédit : NASA / ESA / CSA / STScI / Andrea Luck.
D'après https://www.flickr.com/photos/192271236@N03/53100897700.

La formation des étoiles

Les Piliers de la création est le nom donné à une célèbre image de colonnes de poussières situées dans la nébuleuse de l'Aigle à 7 000 années-lumière de nous, au cœur du jeune amas d'étoiles M16. Elles sont associées à la naissance d'étoiles massives et sont progressivement érodées par leur intense rayonnement ultraviolet.



Comparaison entre l'image des Piliers de la création fournie par *Hubble* (instrument WFC3, lumière visible) et celle envoyée par *James Webb* (instrument NIRCam, proche infrarouge). Crédit : https://webbtelescope.org/contents/media/images/2022/052/01GF44EV0P-PW2BHJS9HMA1AGEK?.

Les piliers de la création dévoilés par l'instrument MIRI (infrarouge moyen) du télescope spatial *James Webb*.
Les milliers d'étoiles qui peuplent la région ont quasiment disparu et ne subsistent que les couches de gaz et de poussières. Magie de l'infrarouge moyen !
Crédit : https://webbtelescope.org/contents/media/images/2022/053/01GFRYSFM89AFAD-VAA0W625BSB.

Cadavres stellaires

La nébuleuse de la Lyre est une cible prisée des astronomes amateurs. Comme nous l'avons déjà dit, il s'agit d'une coquille de gaz en expansion éjectée d'une étoile peu massive en fin de vie. Au cœur de la nébuleuse planétaire est tapie une naine blanche, le résidu très dense de l'étoile lui ayant donné naissance.

Également appréciée des amateurs, la nébuleuse du Crabe est un rémanent de supernova : le reste de l'explosion d'une étoile massive. Elle héberge une étoile à neutrons, un astre qui concentre la masse du Soleil dans le volume d'une sphère d'une dizaine de kilomètres de rayon. Dense comme un noyau atomique, elle tourne une trentaine de fois sur elle-même chaque seconde !

À gauche, la nébuleuse planétaire M57 dite *nébuleuse de la Lyre* (instrument NIRCam) et à droite, le rémanent de supernova M1 dit *nébuleuse du Crabe* (instruments NIRCam et MIRI). Apparue en 1054, l'explosion d'étoile à l'origine de la nébuleuse du Crabe a été observé par les astronomes chinois de la dynastie Song de 1054 à 1056 à l'œil nu, sous la forme d'un point d'abord très brillant puis à l'éclat décroissant. Crédit :
M57 https://webbtelescope.org/contents/media/images/01H82G0PP38P6PBXQ11BEVSMY0.
M1 https://webbtelescope.org/contents/media/images/2023/137/01HBBMDH12APPEGB8DXVVEP8XA.

Galaxies

ESO 350-40, plus communément appelée la Galaxie de la Roue de chariot, est située à près de 500 millions d'années-lumière. Son aspect étonnant résulterait de la collision de plein fouet, il y a quelques centaines de millions d'années, entre cette galaxie (qui devait posséder une structure spirale comme la nôtre), et une galaxie plus petite.

JADES-GS-z14-0 est le nom donné à la plus lointaine galaxie connue à ce jour. Petite tache rougeâtre à peine visible dans un immense panorama empli de galaxies lointaines, nous la voyons telle qu'elle était moins de 300 millions d'années après le Big Bang. Son âge, sa taille et sa luminosité s'ajoutent à un nombre croissant d'éléments qui tendent à prouver que notre compréhension des premières structures de l'Univers est incomplète.

La galaxie de la Roue de chariot (instruments NIRCam et MIRI). Crédit : https://webbtelescope.org/contents/media/images/2022/039/01G8JXN0K2VBQP112RNSQWTCTH.