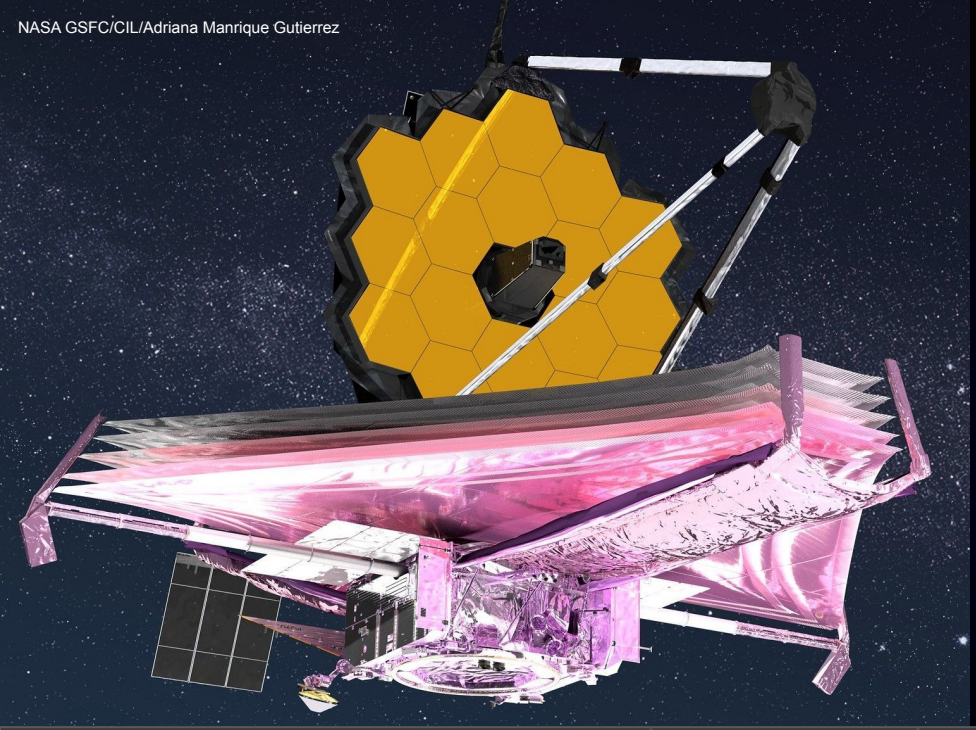
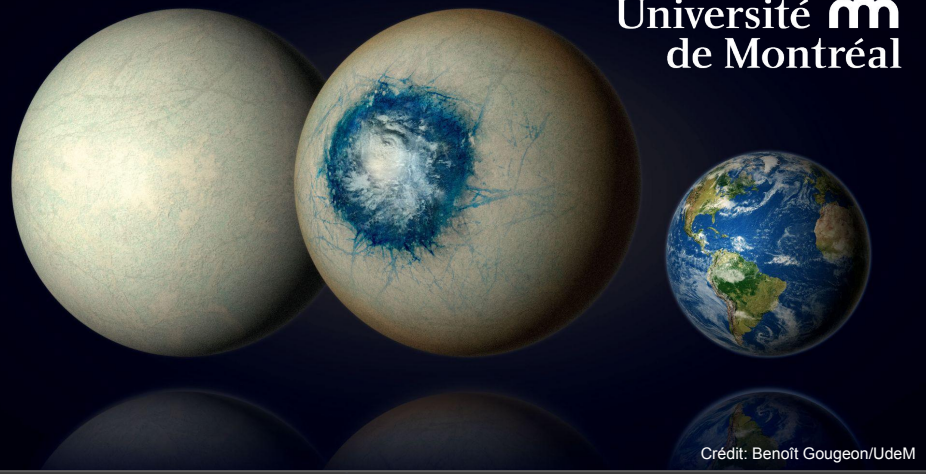


Institut Trottier
de recherche sur
les exoplanètes

Trottier Institute
for Research
on Exoplanets

IREX

Université de Montréal



Le télescope spatial James-Webb, ses instruments, et l'étude des atmosphères d'exoplanètes

Charles Cadieux, Club des astronomes amateurs de Sherbrooke, 11 juillet 2025

Université de Montréal

IREX

Institut Trottier de recherche sur les exoplanètes

Trottier Institute for Research on Exoplanets

Foundation familiale Trottier Family Foundation

Pour l'exploration des nouveaux mondes, à la recherche de vie

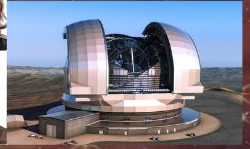












www.exoplanetes.ca
irex@astro.umontreal.ca
@iexoplanets
@iRExoplanetes
@exoplanetes
company/exoplanetes

espace pour la vie montréal planétarium

McGill

Université Bishop's University

Université Laval

Merci aux généreux donateurs de l'IREx

Trottier Family Foundation
Philippe Sureau
Martin Périard
Carole Kleingrib
Isabelle Morin
Anne Joli-Cœur
Jean-Marc Lauzon
Hortense Michaud-Lalanne
Sylvain Lumbroso
Stéphanie Codsi
Marie-Hélène Paquette
Jean-François Bertrand

Fondé en 2014, maintenant avec plus d'une soixantaine de membres!

Tournée d'adieu!

- Visite au CAAS en février 2024 (fin de thèse)
- Soutenance de thèse le 12 février 2025!
- Présentation les 11 et 12 juillet (CAAS, Festival d'astronomie populaire de l'OMM)
- Départ le 1 octobre 2025 pour un post-doctorat à l'Observatoire de Genève





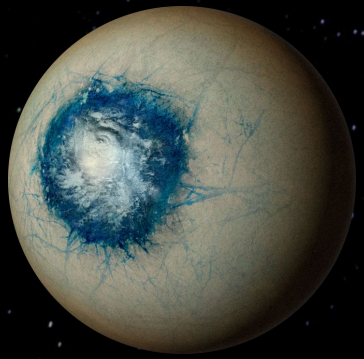


Ce soir

1. Le télescope spatial James-Webb
2. Études des atmosphères d'exoplanètes avec le James-Webb
3. Période de Questions–Réponses



Télescope spatiale James-Webb



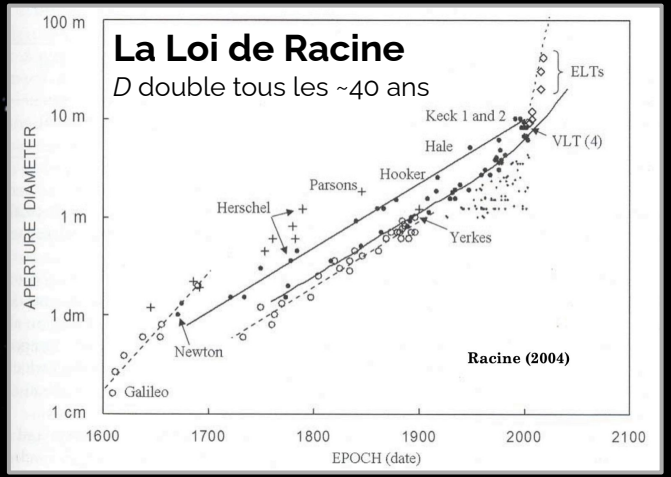
L'exoplanète LHS 1140 b

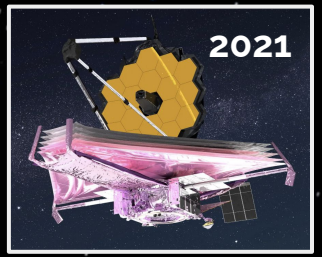


Galaxie '?' observée par Webb

L’Astronomie, une science observationnelle

- L’astronomie est basée sur l’observation de phénomènes naturels en cours, contrairement aux sciences expérimentales (laboratoire)
- On étudie ce qui nous parvient du cosmos :
  - Particules chargées (vent solaire)
  - **Ondes électromagnétiques** (lumière)
  - Ondes gravitationnelles
- Des observatoires astronomiques de plus en plus grands et complexes!





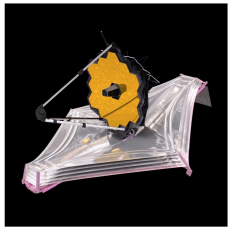
JWST (6.5m); Crédit : NASA

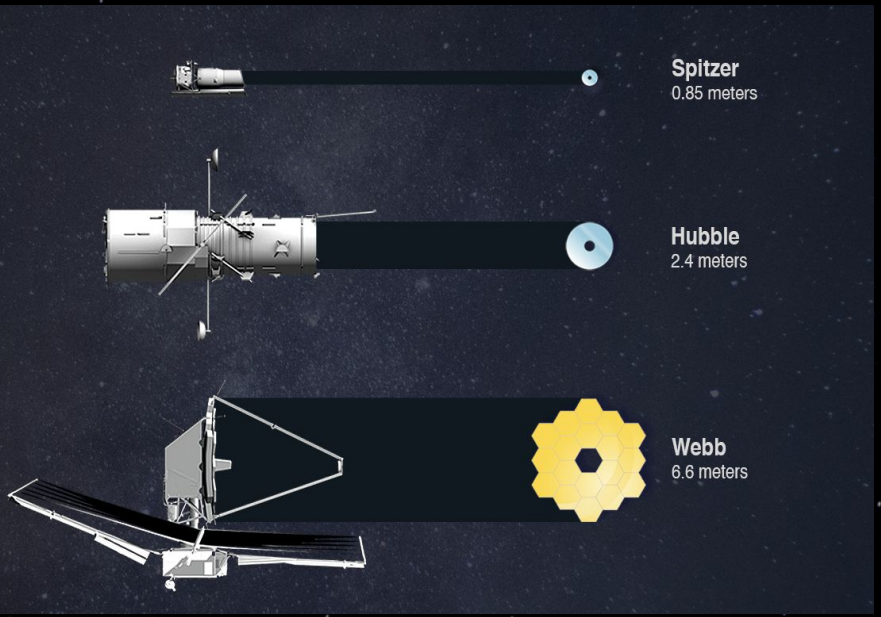


ELT (39m); Crédit : ESO

James-Webb, le successeur de Hubble





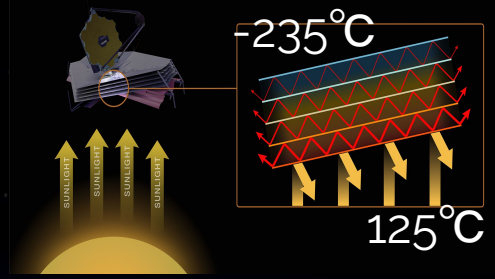


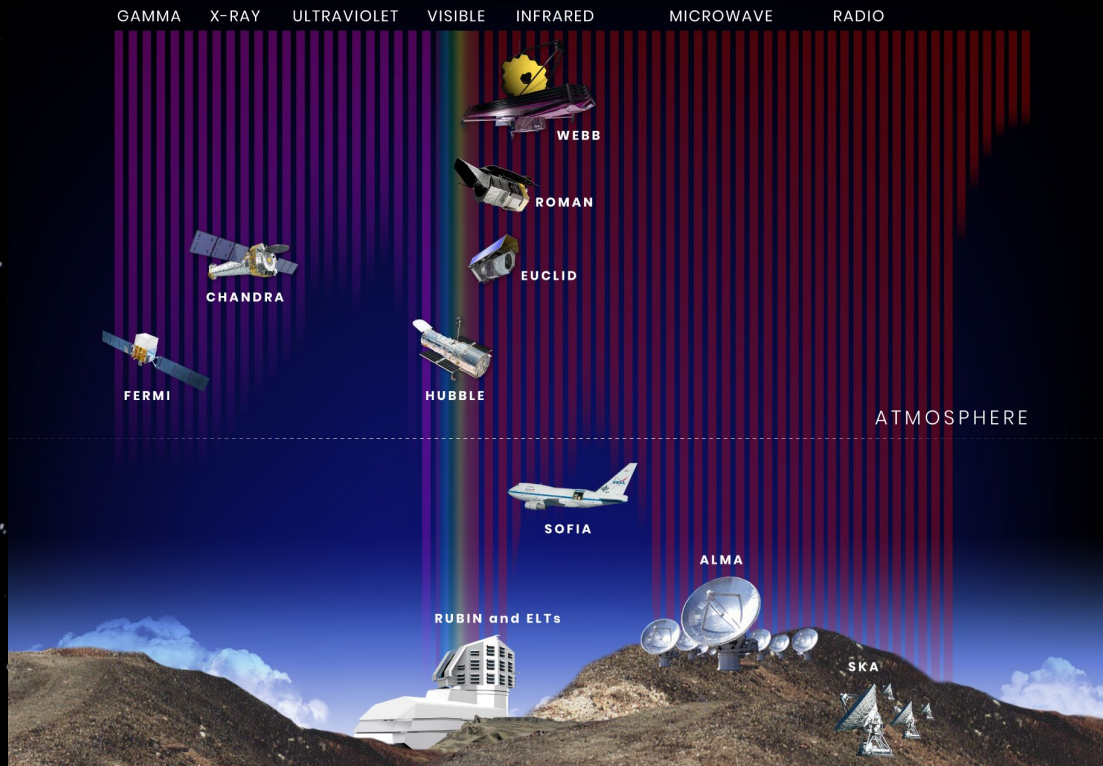
Crédit: NASA, STScI

- Le télescope spatial Hubble en orbite basse depuis 1990
- Rapidement on propose un successeur, le Next Generation Space Telescope (1996)
- Coût total de 10 milliards $, repoussé au moins 5 fois, lancé à Noël 2021
- Miroir en 18 segments de 1.5 m en béryllium avec un revêtement en or
- À révolutionné le monde de l'astronomie!

De la lumière visible à l’infrarouge

- L’infrarouge permet de ‘voir’ des objets plus distants et plus vieux
- Les objets froids (naines rouges, naines brunes, exoplanètes) sont plus brillants dans l’infrarouge
- L’infrarouge traverse plus facilement la poussière interstellaire, révélant des structures autrement invisibles

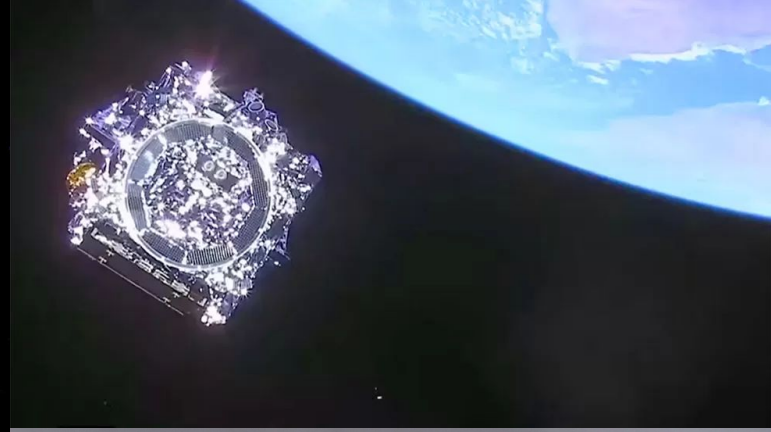




Crédit: NASA, STScI

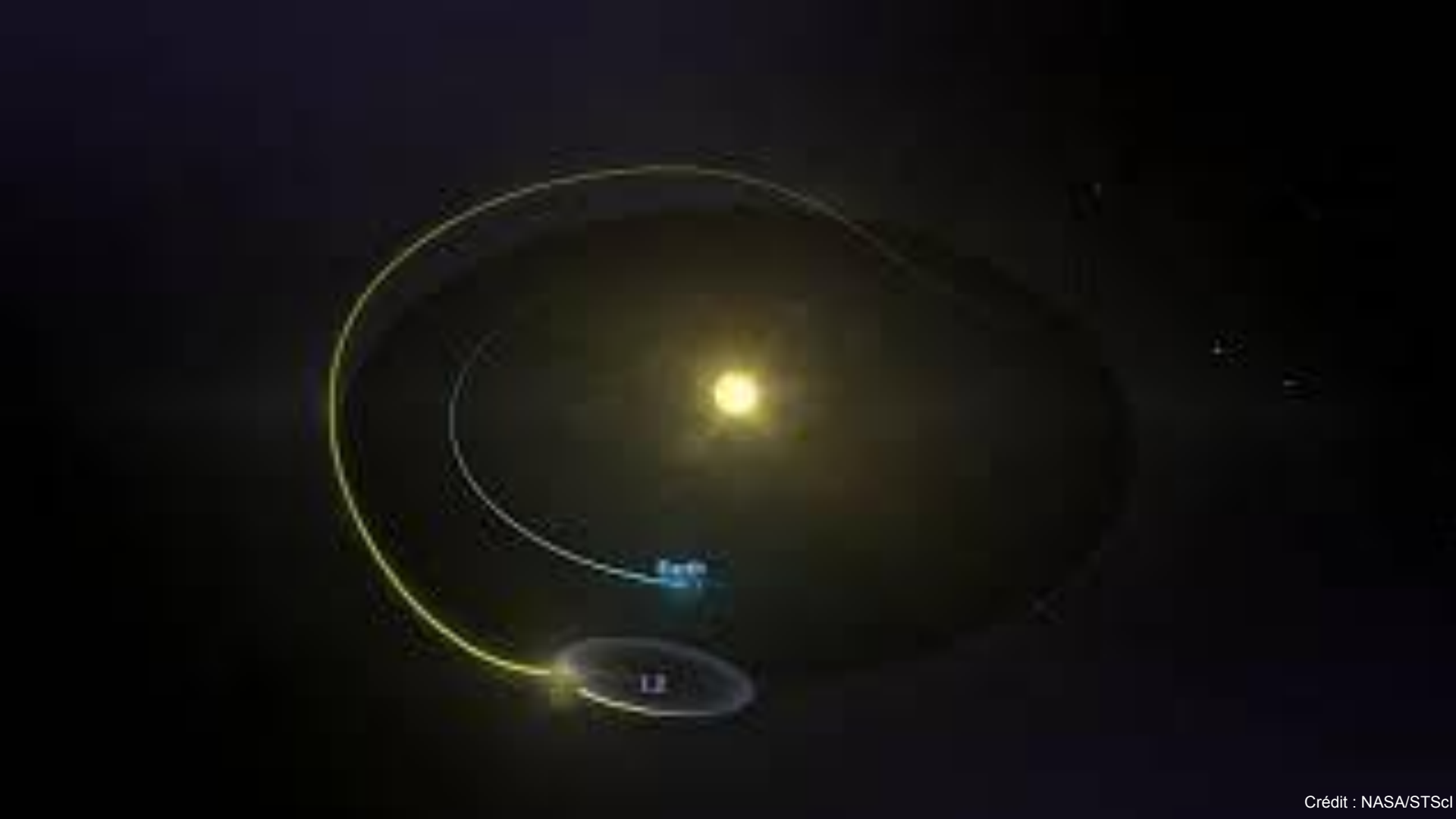
Lancement et déploiement

- Lancement à Noël 2021 à bord d'une fusée Ariane 5, suivi de 30 jours de 'Terreur'
- 6 mois pour la calibration des instruments
- Instruments ont une durée de vie d'au moins 5 ans
- Réserve de carburant pour au moins 20 ans!



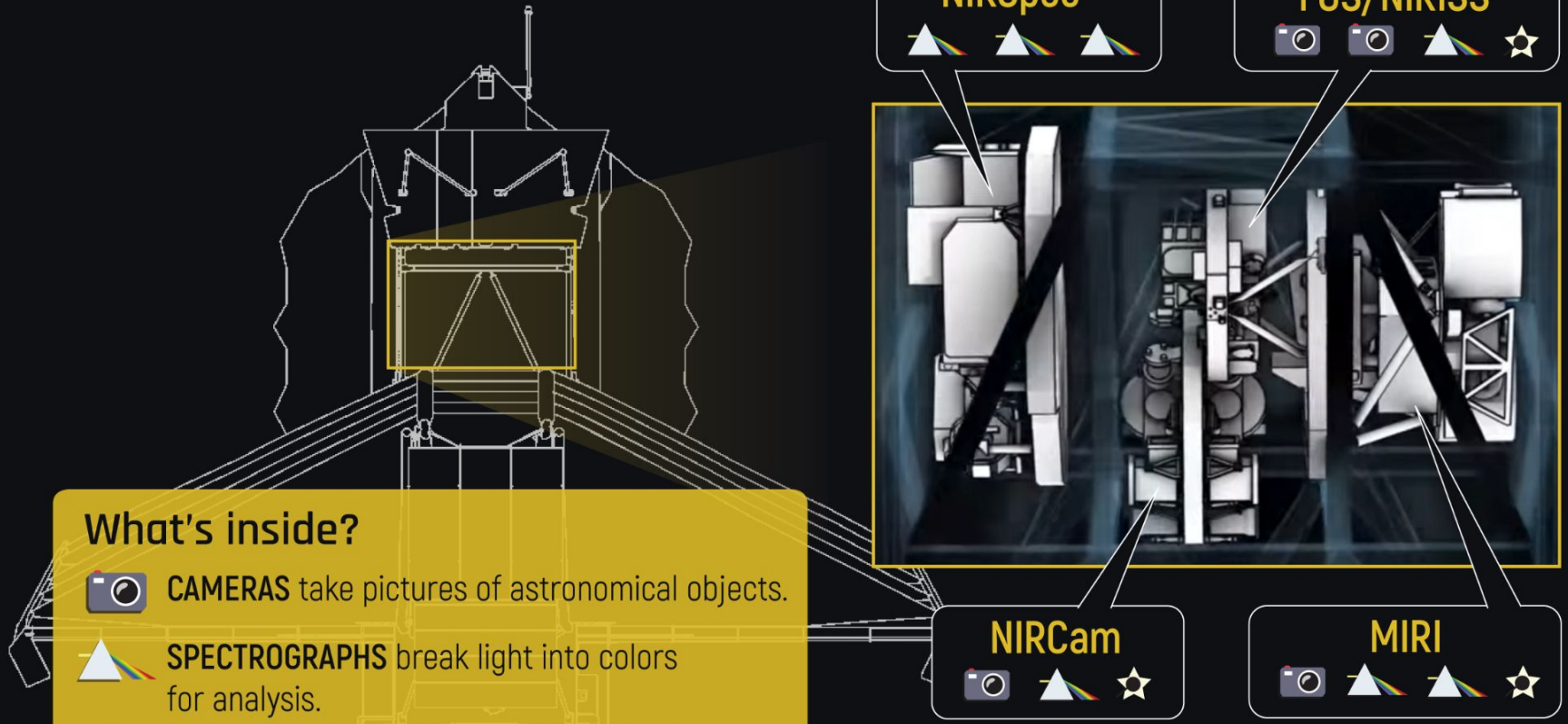


Crédit : Arianespace, ESA, NASA



Crédit : NASA/STScI

Webb's Science Instruments

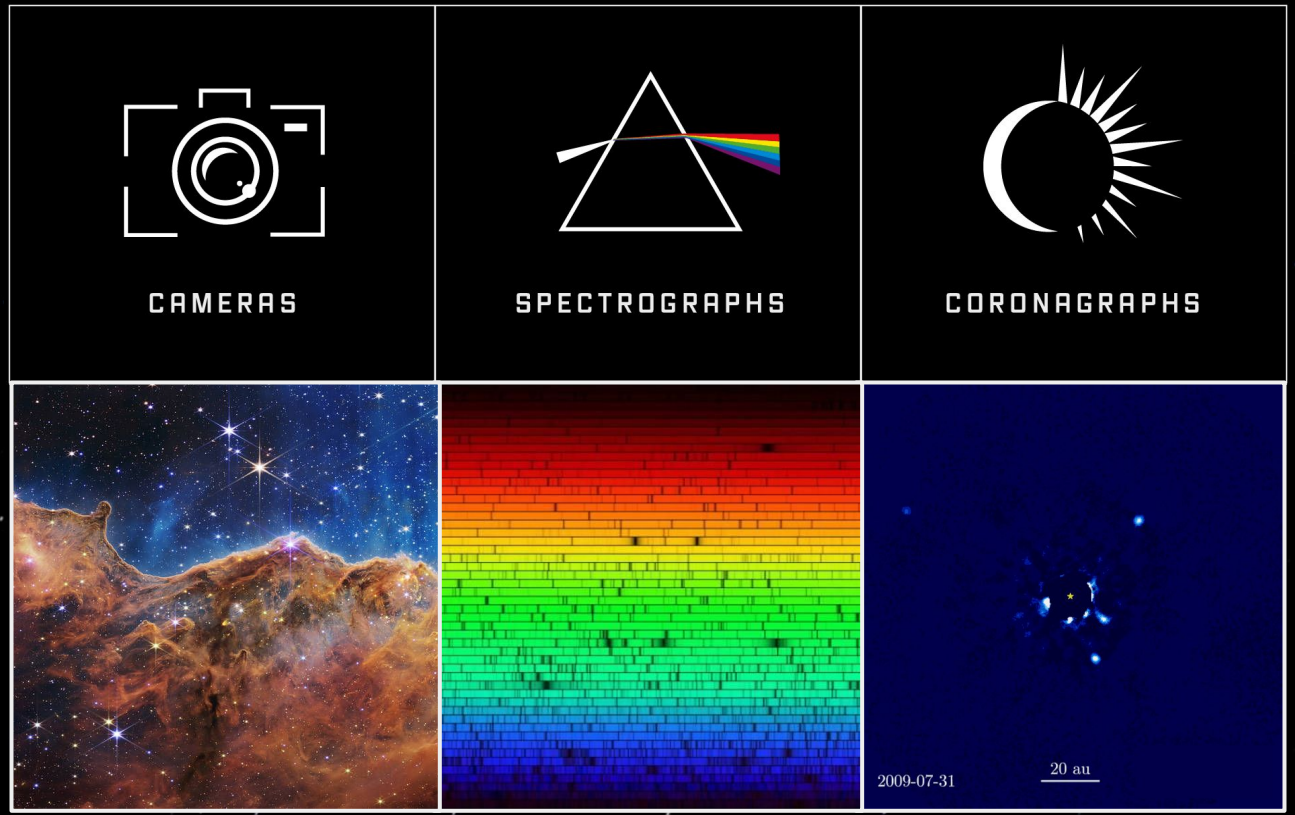


Infrarouge (0,6–28 µm)

Crédit : NASA/STSci

Crédit: NASA, Andi James (STScI), Jason Wang

Différents modes d'observation



NIRISS

Near-Infrared Imager and Slitless Spectrograph

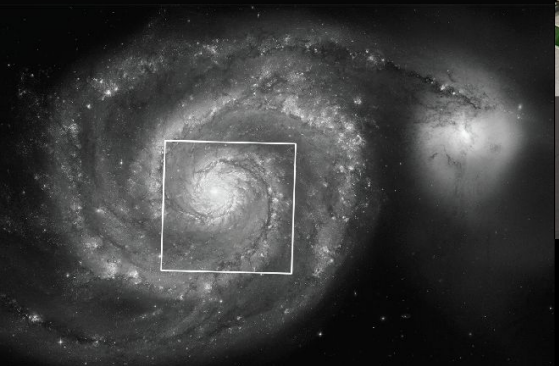
COMPONENTS



WAVELENGTH



FIELD OF VIEW



Crédit: NASA, Andi James (STScI)

La contribution canadienne





CSA ASC

Crédit : NASA (C. Gunn), Nathalie Ouellette

NIRSPEC

Near-Infrared Spectrograph

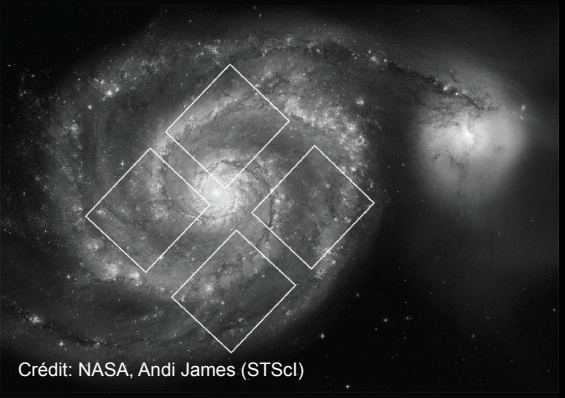
COMPONENTS



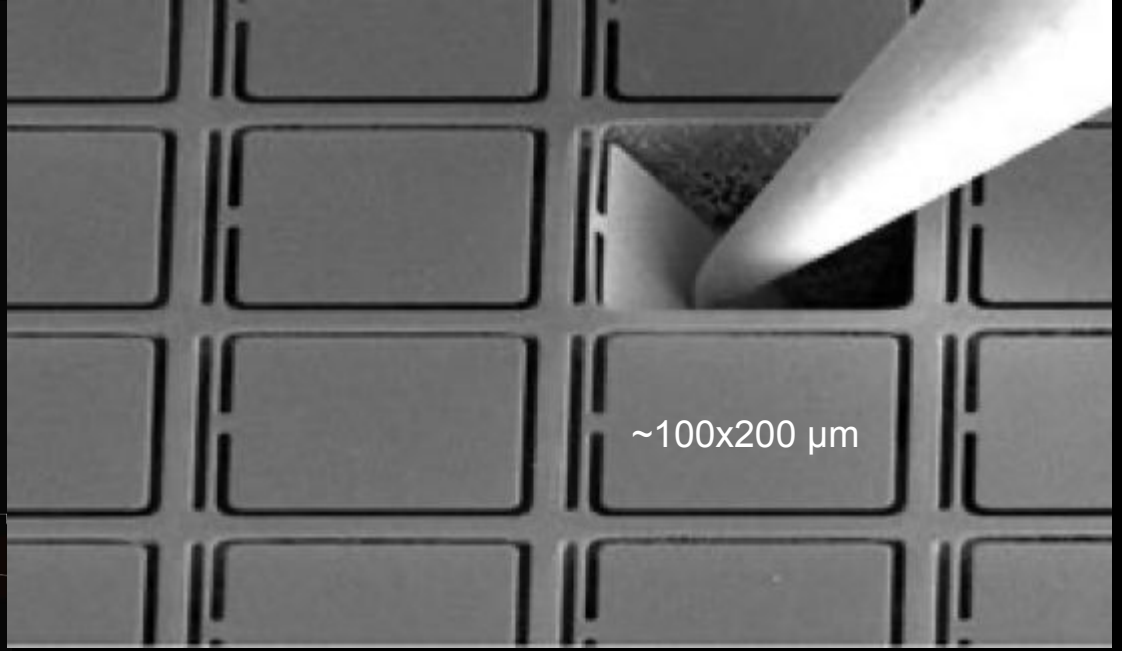
WAVELENGTH



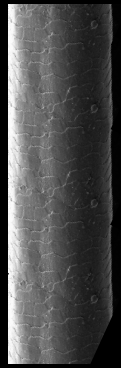
FIELD OF VIEW

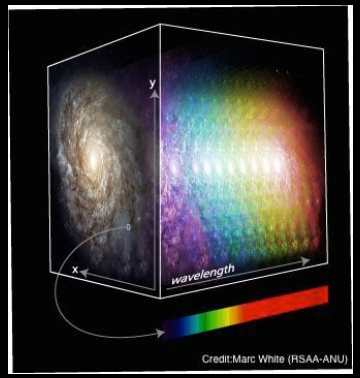


Crédit: NASA, Andi James (STScI)



Cheveux humain

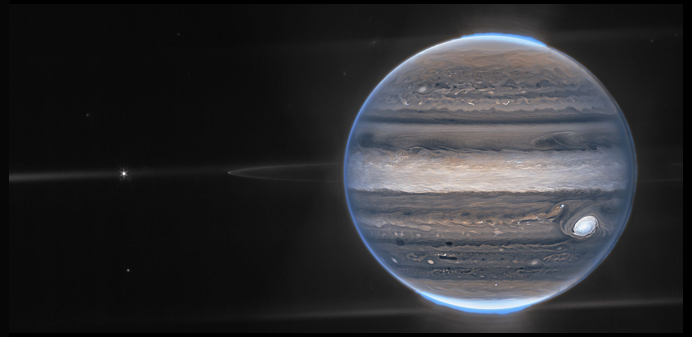


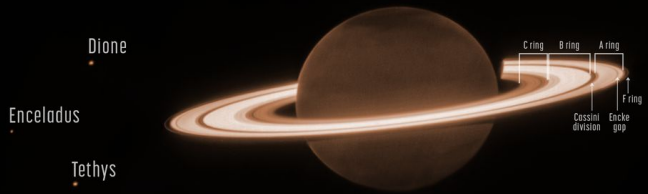


NIRCAM

Near-Infrared Camera

Principal imageur sur James-Webb





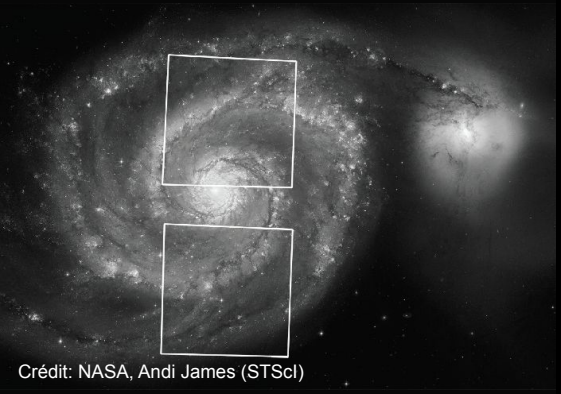
COMPONENTS



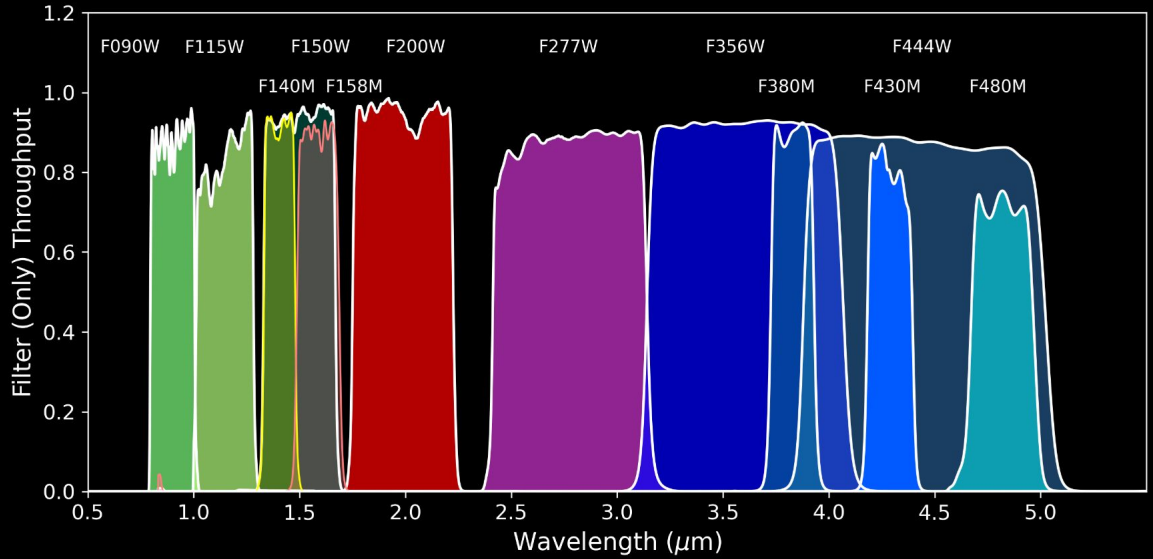
WAVELENGTH



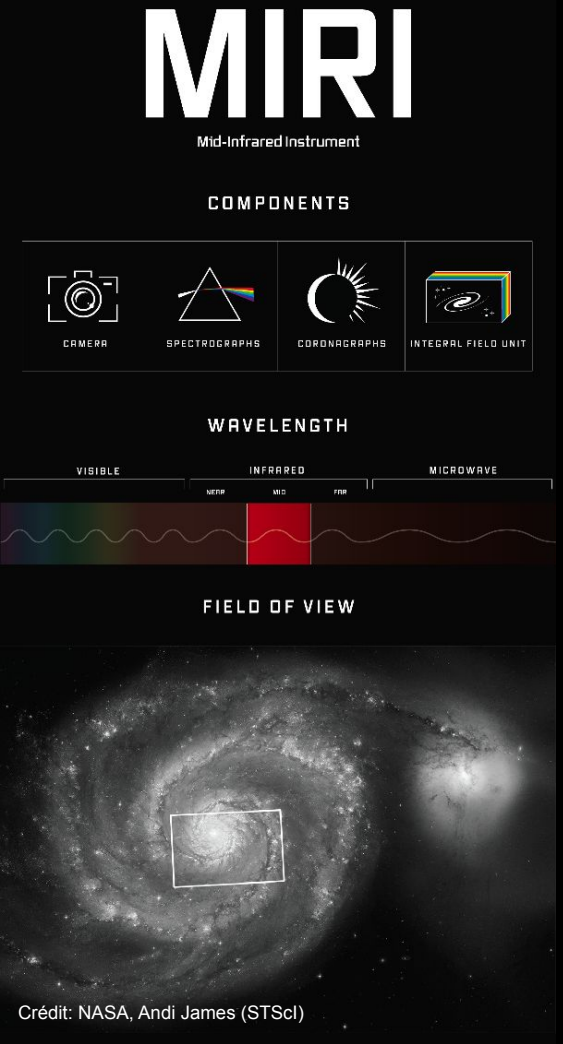
FIELDS OF VIEW

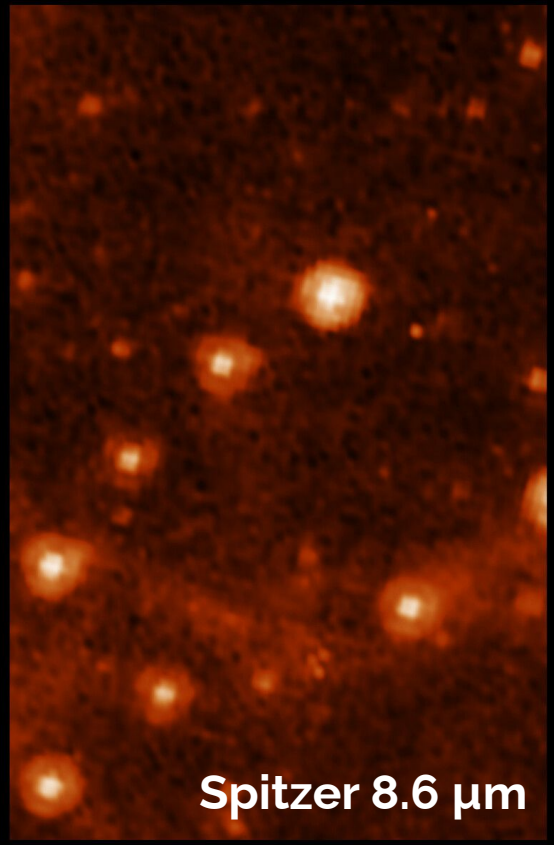


Crédit: NASA, Andi James (STScI)



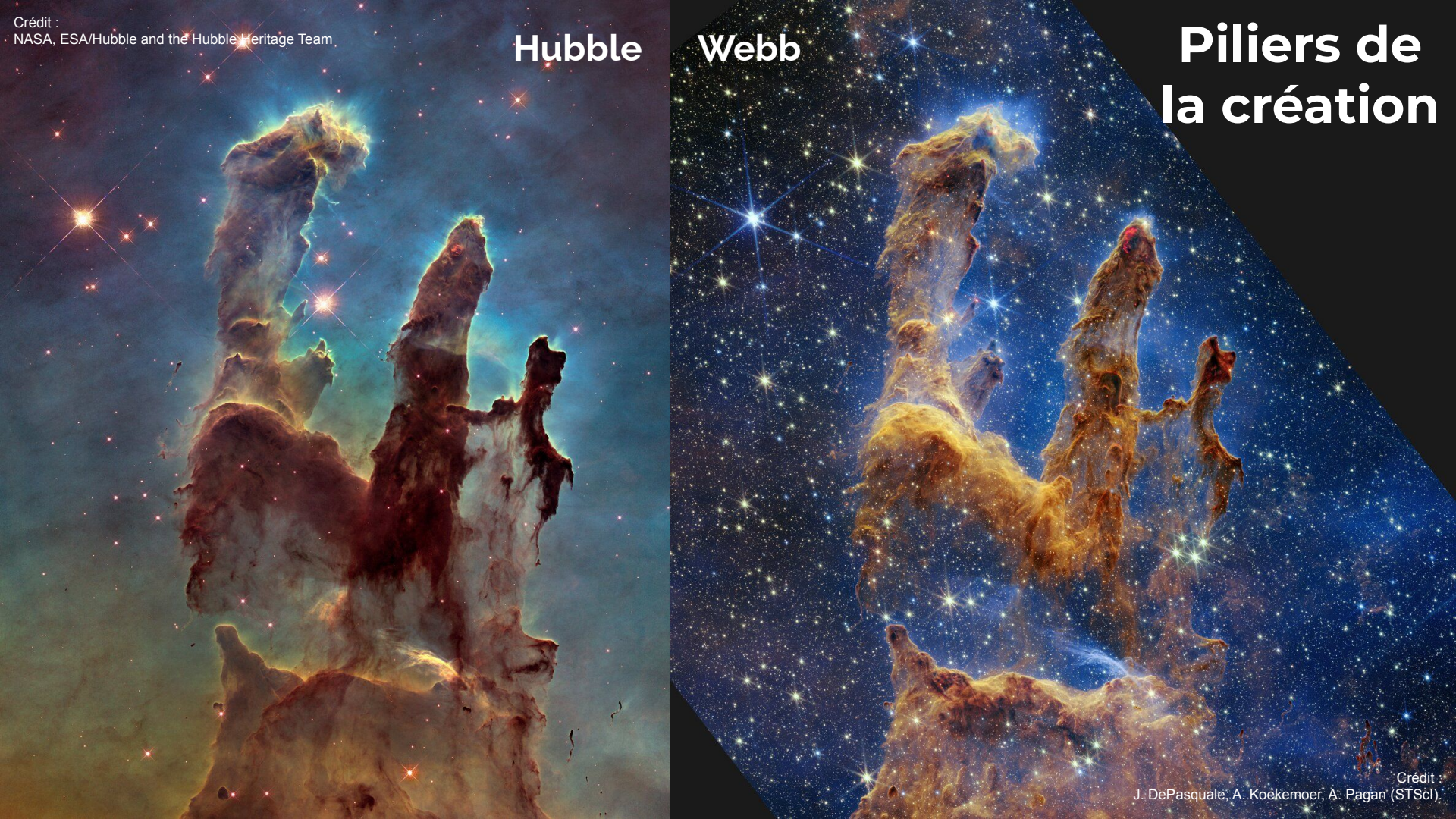
Imageur/spectromètre infrarouge moyen



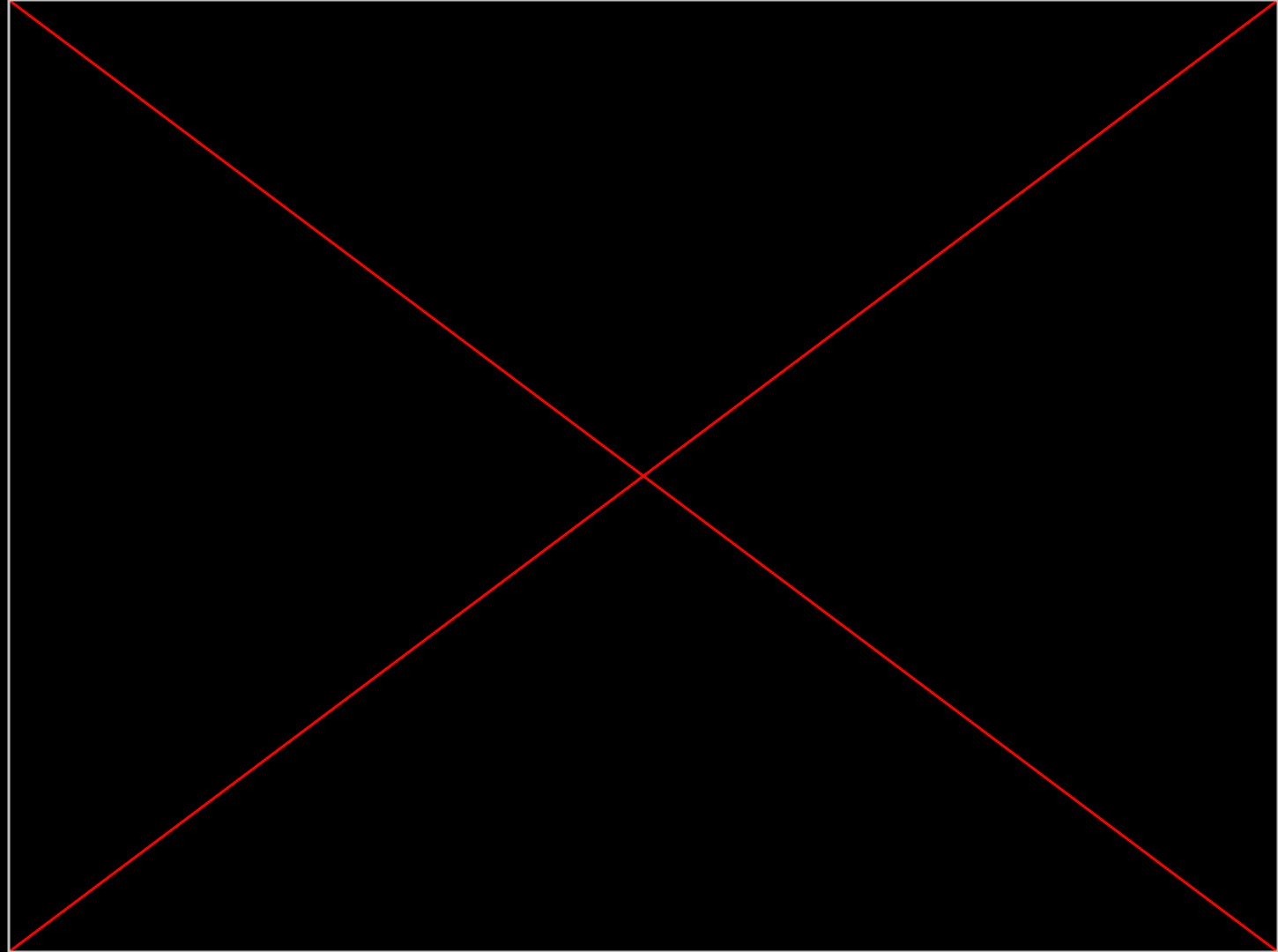




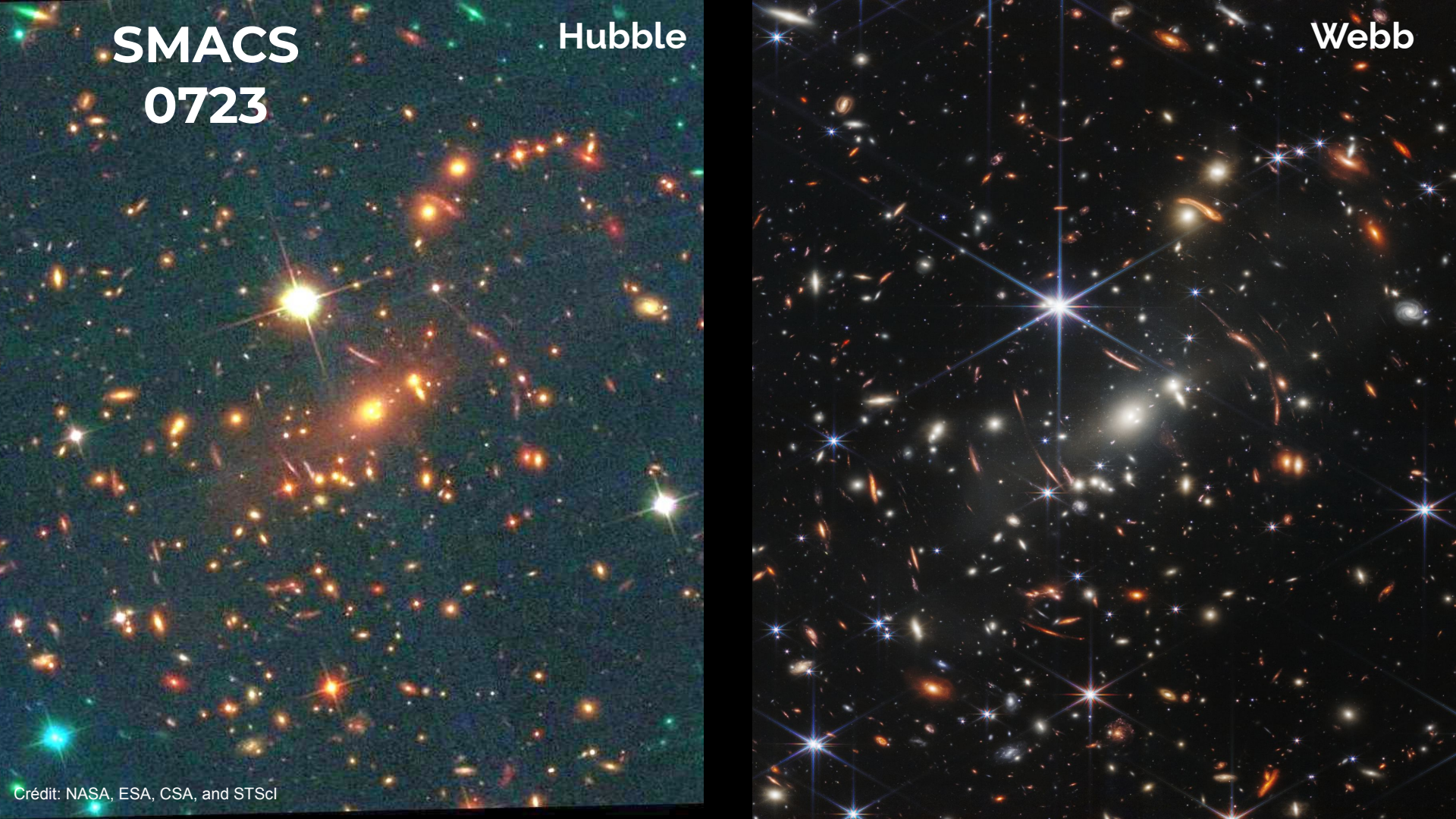
Piliers de la création



Nébuleuse de la Carène (NGC 3372)



Crédit: NASA, ESA, CSA, and STScI


SMACS
0723
Hubble
Webb
Crédit: NASA, ESA, CSA, and STScI

Nébuleuse de la Tarentule (NIRCam)



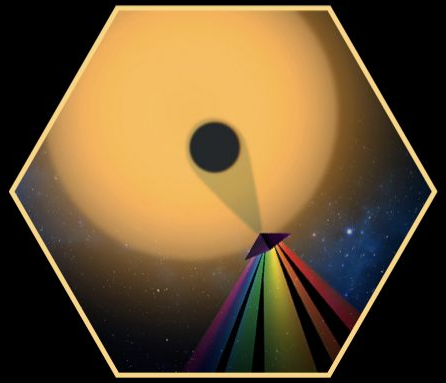
Crédit: NASA, ESA, CSA, and STScI


Spitzer Space Telescope

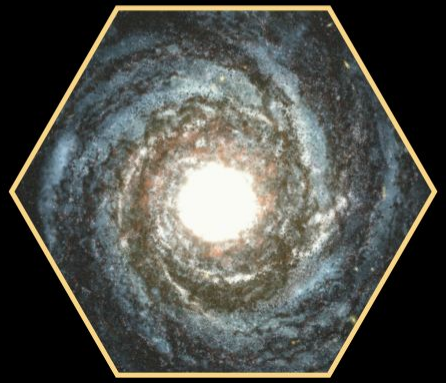

Crédit : NASA, ESA, CSA, STScI, NASA-JPL, SSC
Webb Space Telescope

Crédit : Nathalie Ouellette

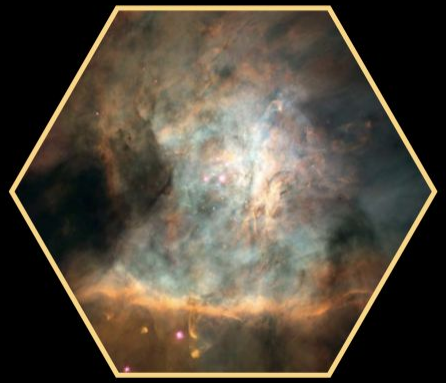
Qu'observe Webb?



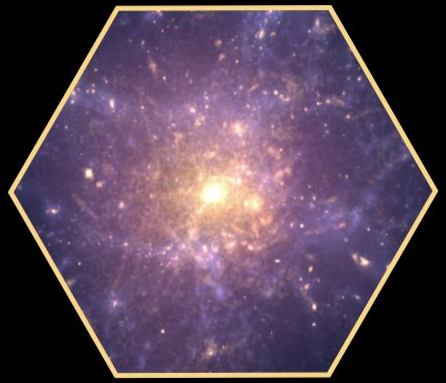
Mondes extraterrestres



Galaxies



Vie des étoiles



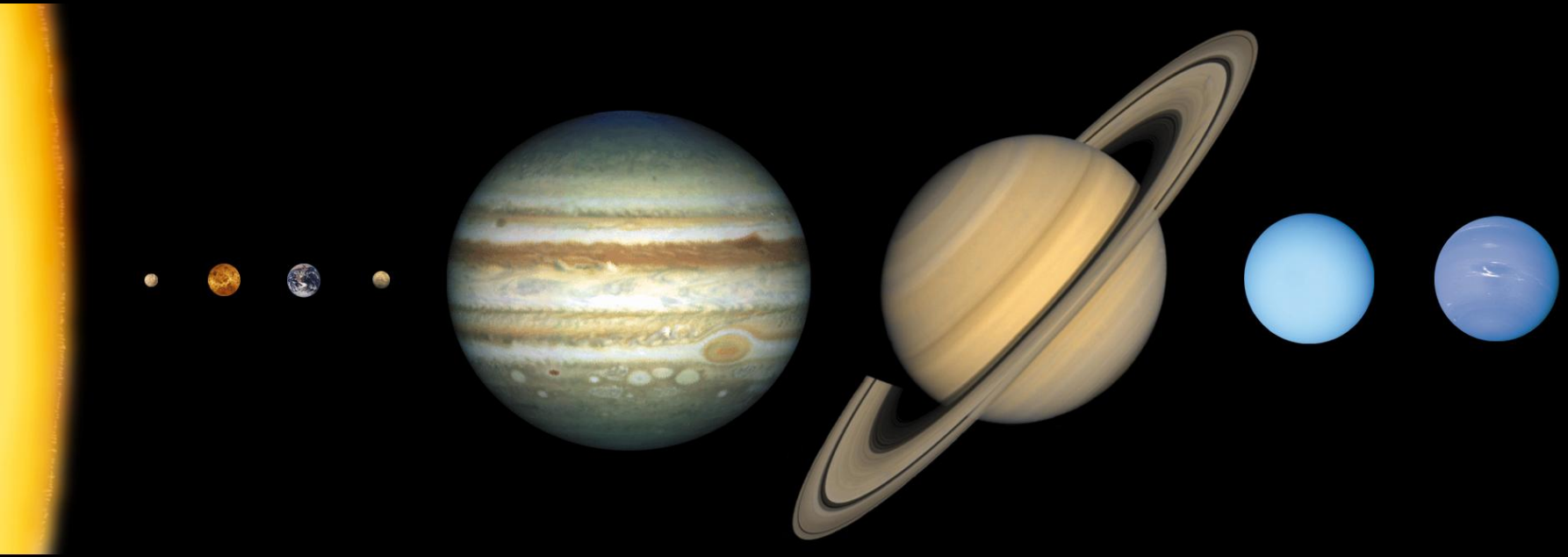
Univers primordial



Rappel sur les exoplanètes

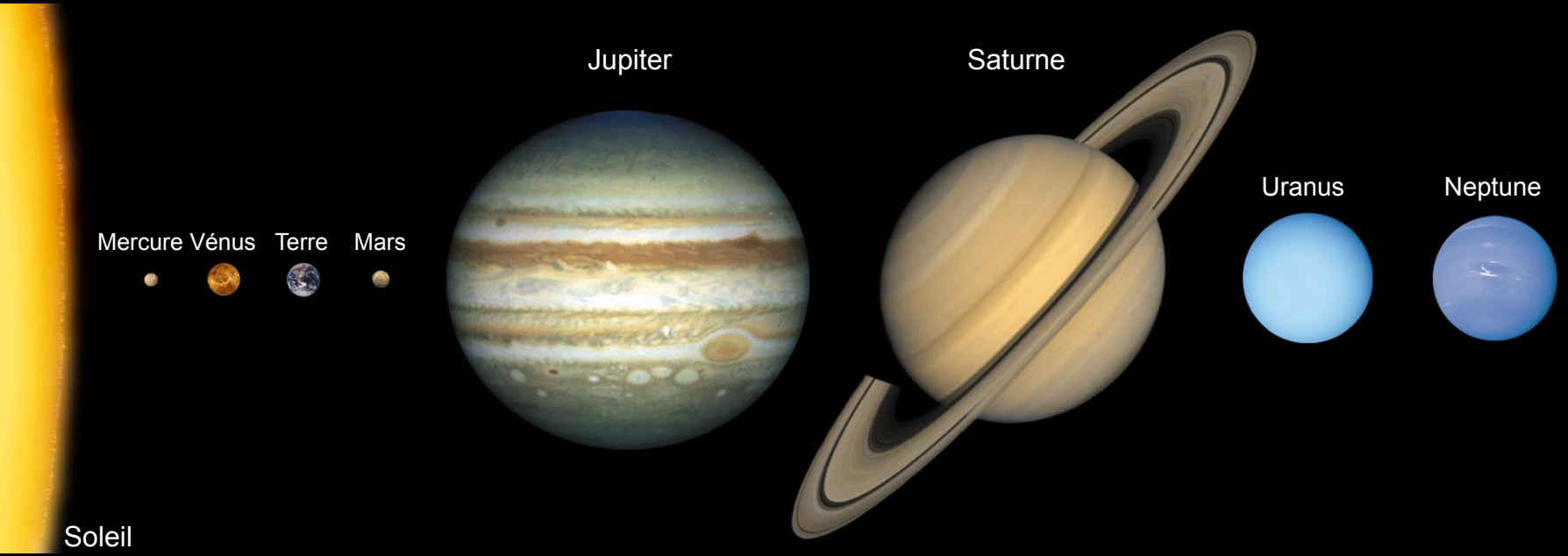
Le mot planète provient du grec ancien signifiant « astre errant »

Le système solaire



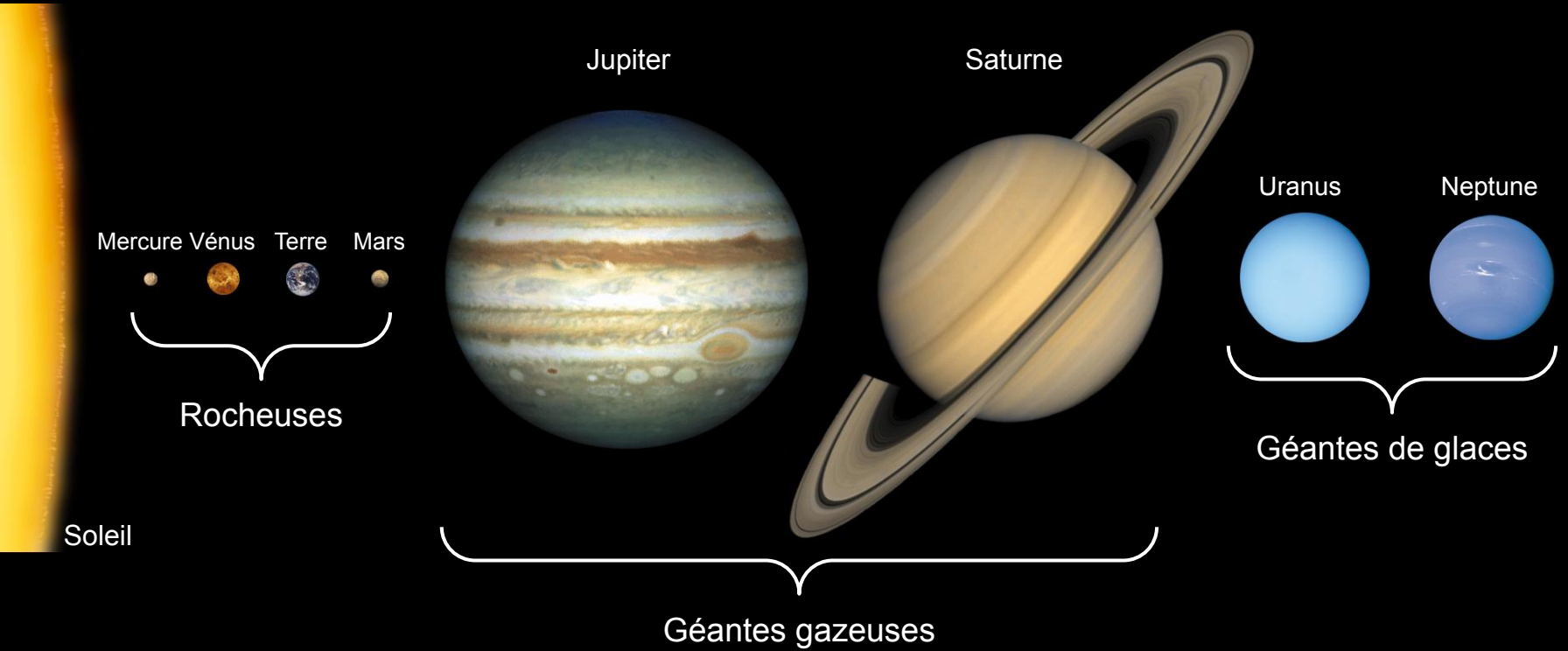
Crédit : NASA/JPL

Le système solaire



Crédit : NASA/JPL

Le système solaire



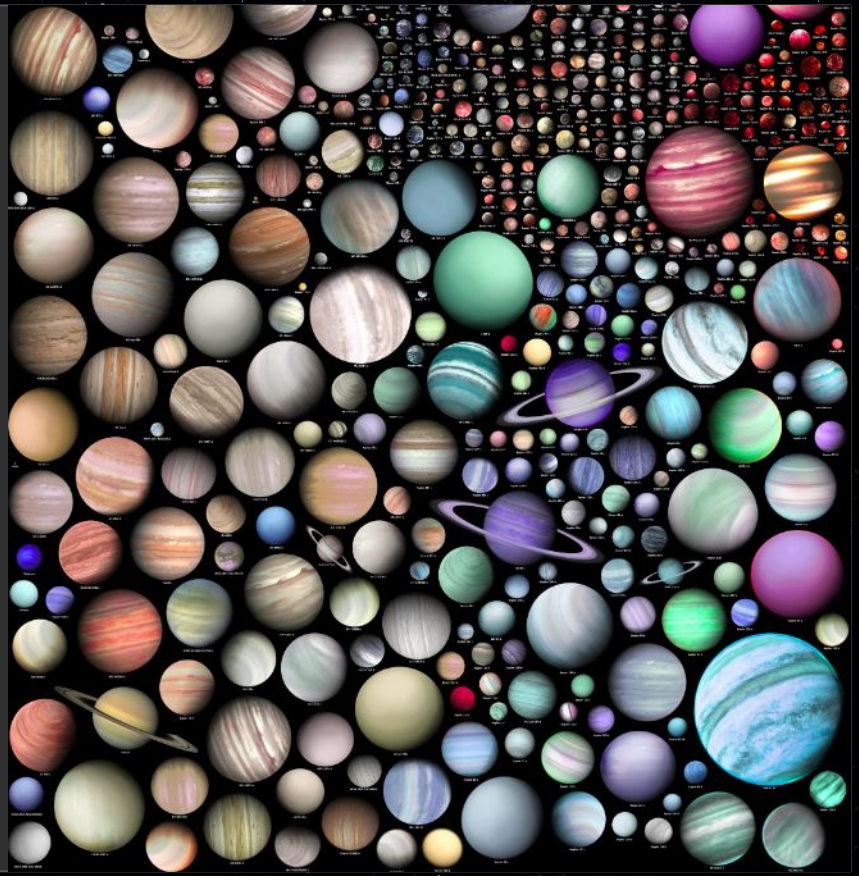
Crédit : NASA/JPL

Les exoplanètes

Les exoplanètes – ou planètes extrasolaires – sont des planètes qui orbite d'autres étoiles que le Soleil

Pourquoi les étudier? Répondre aux questions :

- Comment les planètes se forment-elles?
- Le système solaire est-il unique?
- Existe-t-il de **la vie ailleurs** que sur Terre?



Infographie : Halcyonmaps

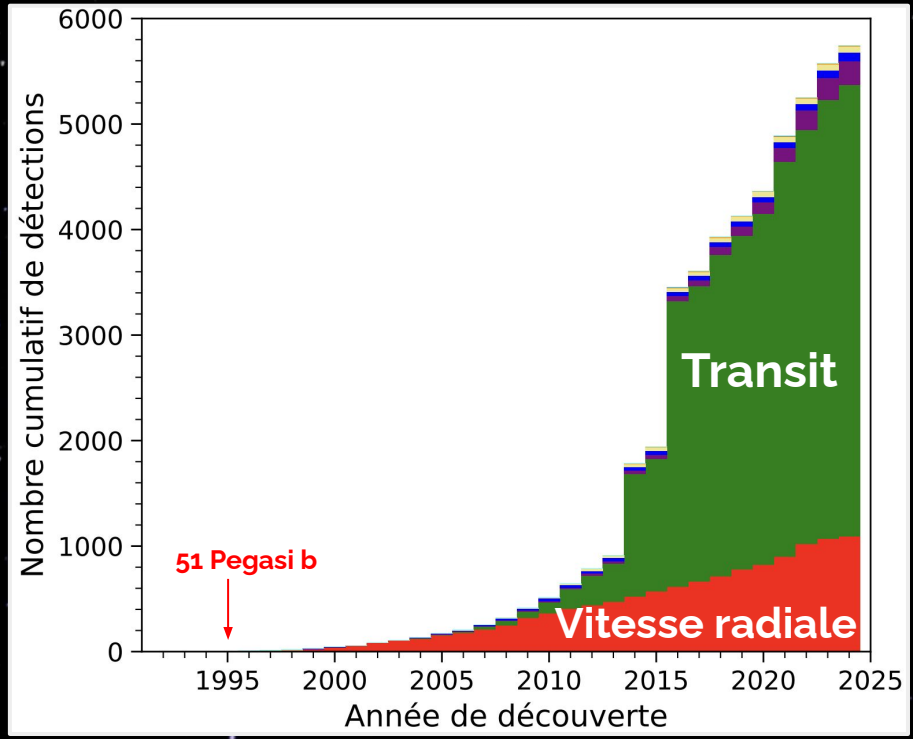
30 ans depuis la première exoplanète

- Première exoplanète **51 Pegasi b** découverte en 1995



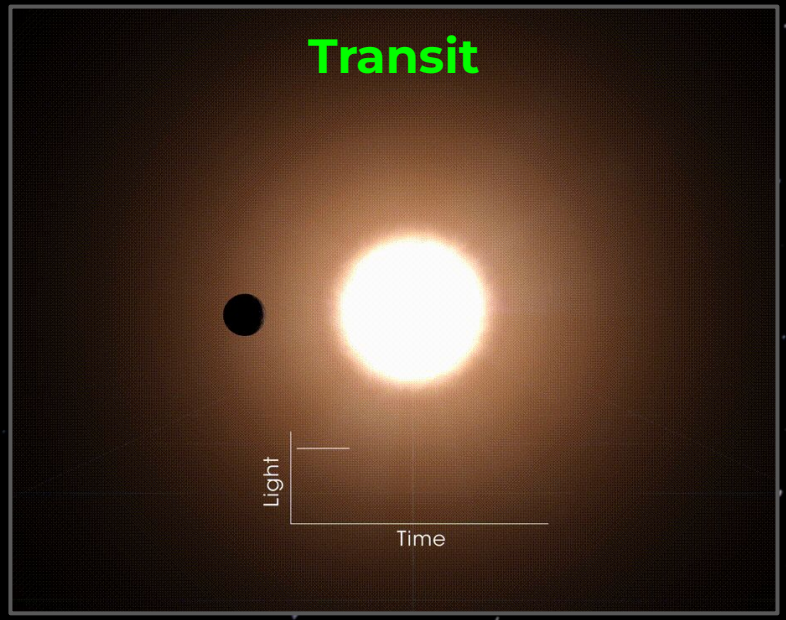
Crédit : ESO/M. Kornmesser/Nick Risinger

- Aujourd'hui, **5926 exoplanètes connues** principalement par les méthodes du **transit** et de la **vitesse radiale**



Données de la NASA Exoplanet Archive

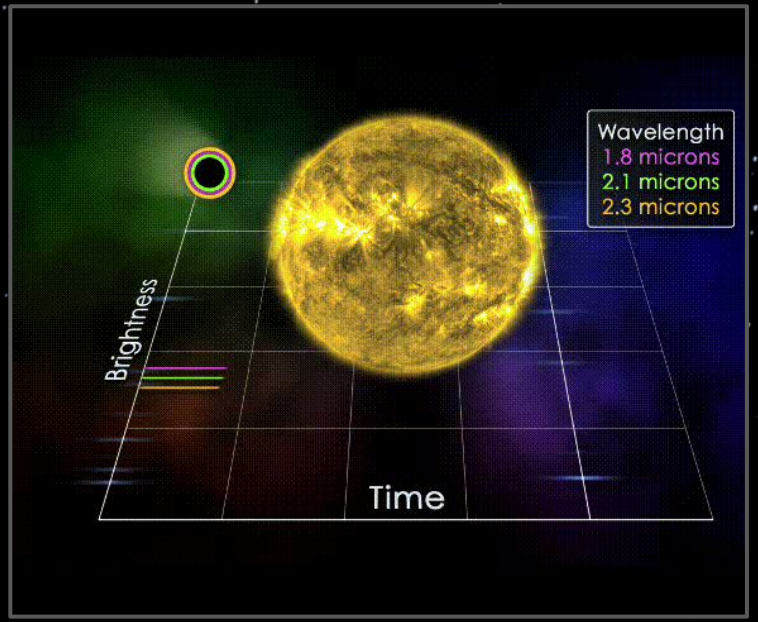
La méthode du transit

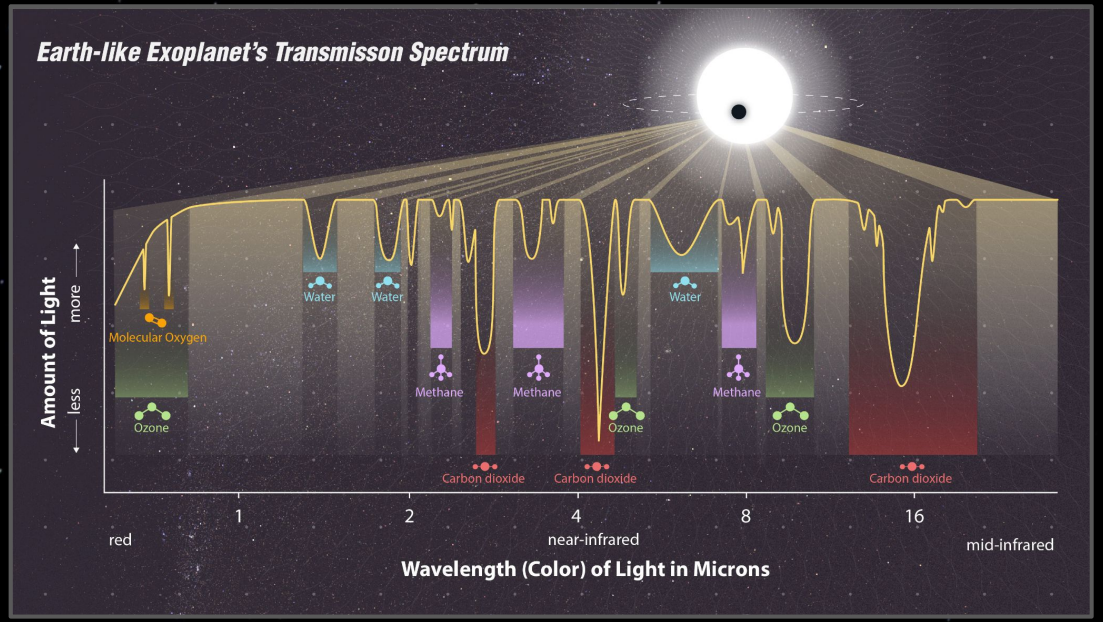


Crédit : Goddard Space Flight Center

- Passage d'une exoplanète **devant** son étoile produisant une **baisse du flux lumineux**
- Plus la planète est **grande**, plus elle masque son étoile : **Sensible au rayon R_p** de l'exoplanète
- Inconvénient : **Probabilité de transit est ~1%**

La spectroscopie de transit



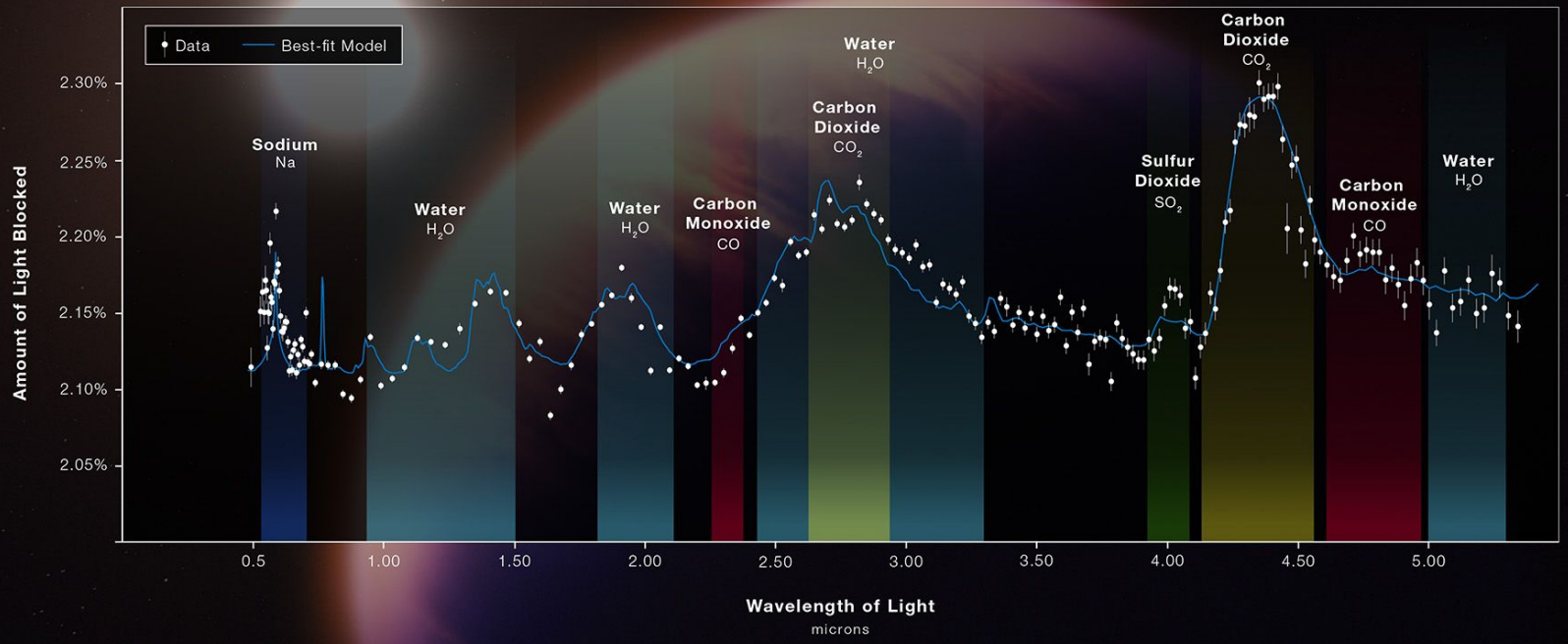


Animation par Dan Gallagher / Image : NASA, ESA, CSA, STScI, Joseph Olmsted (STScI)

HOT GAS GIANT EXOPLANET WASP-39 b

ATMOSPHERE COMPOSITION

NIRSpec PRISM



WEBB
SPACE TELESCOPE

L’éclipse secondaire

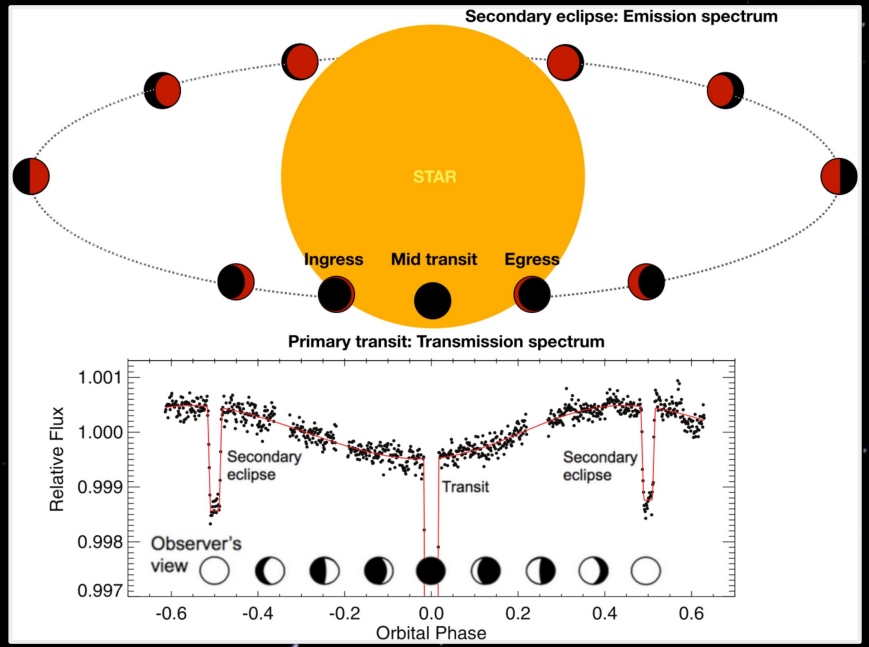
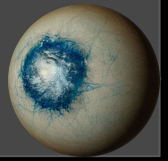


Figure par William Pluriel

- Passage d’une exoplanète **derrière** son étoile produisant une **baisse du flux lumineux**
- **Émission thermique** et **lumière réfléchie**
- Permet de mesurer **la température du côté jour** des exoplanètes

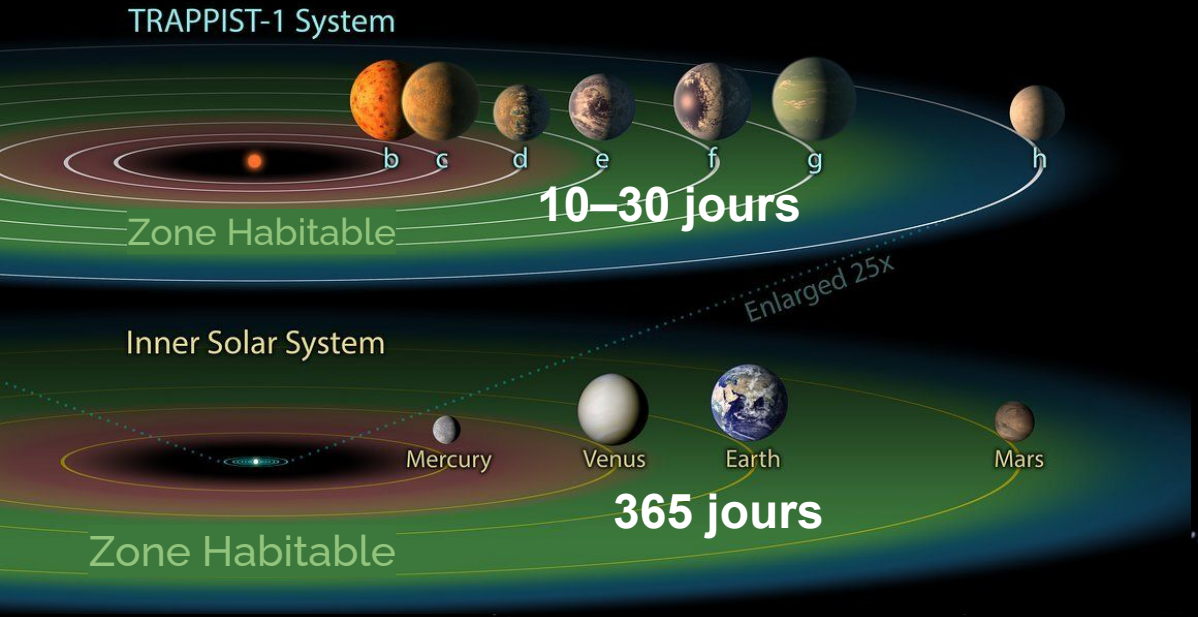
Découvertes marquantes du James-Webb dans le domaine des exoplanètes

1. **TRAPPIST-1 b et c** sont probablement des boules de roche sans atmosphères…
2. **TOI-270 d** possède une atmosphère ‘vodka’ avec l’eau et l’hydrogène miscibles
3. **K2-18 b**, détection de biosignatures ou mauvaise communication scientifique?
4. **LHS 1140 b**, une atmosphère terrestre sur une exoplanète potentiellement habitable?



WEBB SPACE TELESCOPE

Le système TRAPPIST-1

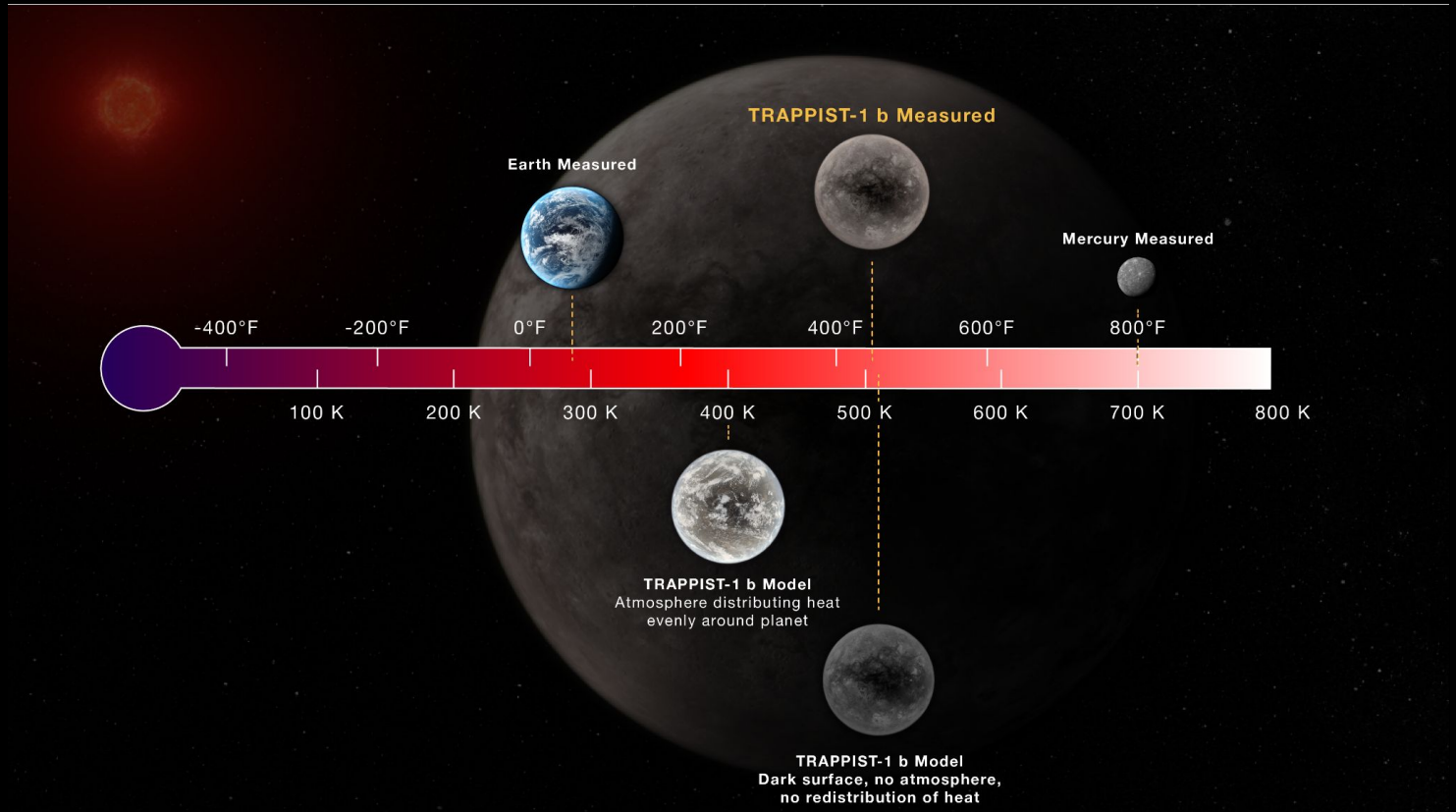


Crédit : NASA/JPL-Caltech

ROCKY EXOPLANET TRAPPIST-1 b

DAYSIDE TEMPERATURE COMPARISON

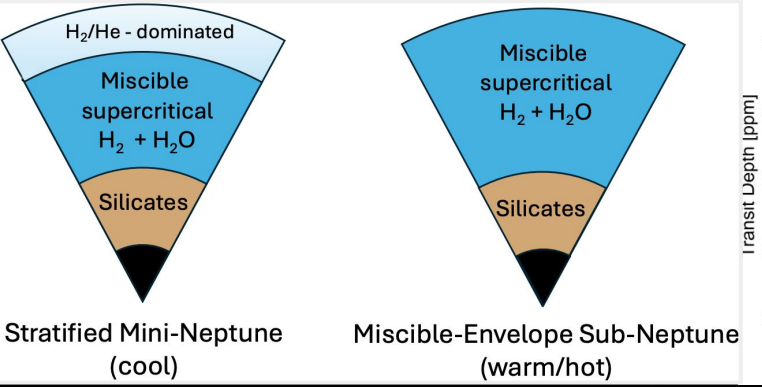
MIRI | F1500W

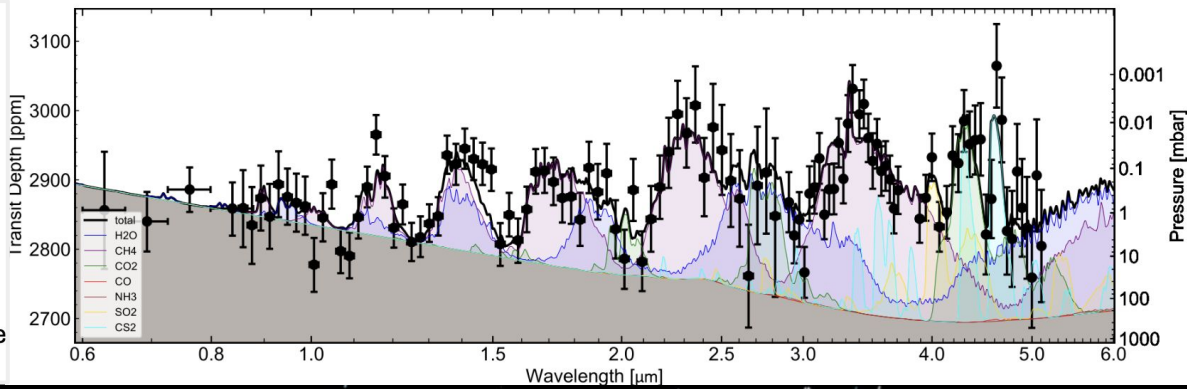


WEBB
SPACE TELESCOPE

TOI-270 b, une atmosphère ‘vodka’







Crédit : Bjorn Benneke et collaborateurs

K2-18 b sous la loupe du James-Webb

Des « indices » prometteurs liés à la vie détectés sur une exoplanète

Science

Scientists find strongest evidence yet of life on an alien planet

Gases found on K2-18 b, 124 light years away, are generated on Earth by algae

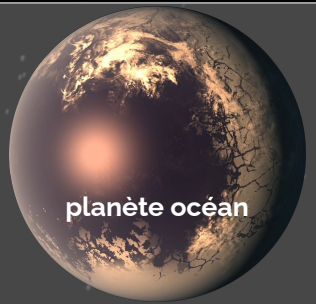
Thomson Reuters · Posted: Apr 17, 2025 9:08 AM EDT | Last Updated: April 17

- ‘Détection’ de DMS, une molécule produite par le phytoplankton sur Terre
- Depuis, trois études concluent que la détection n’est pas statistiquement significative



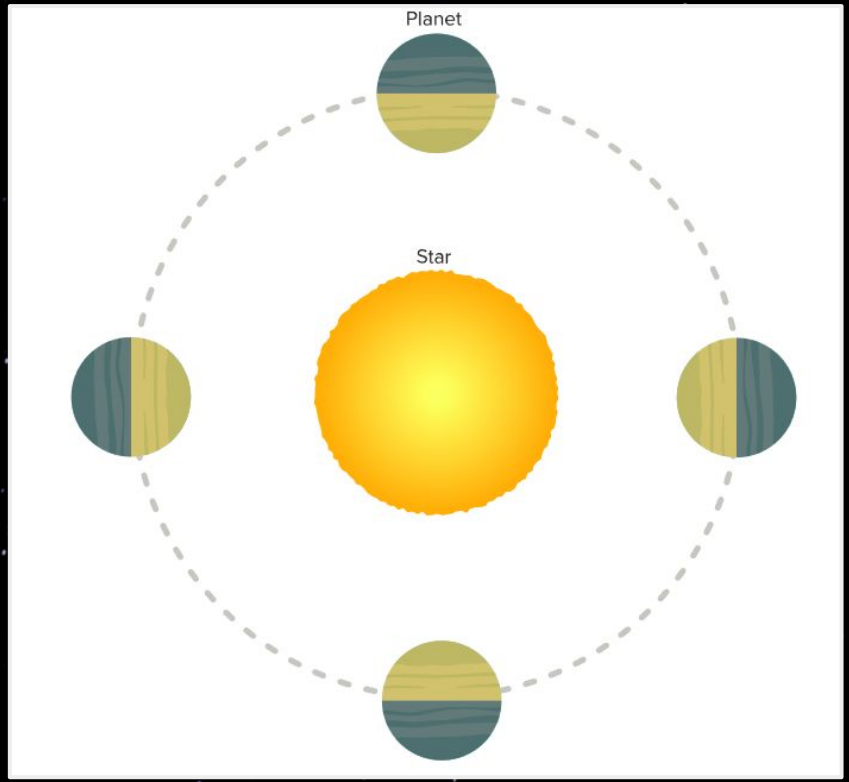
Crédit: ESA/Hubble, M. Kornmesser

LHS 1140 b, une version plus petite de K2-18 b

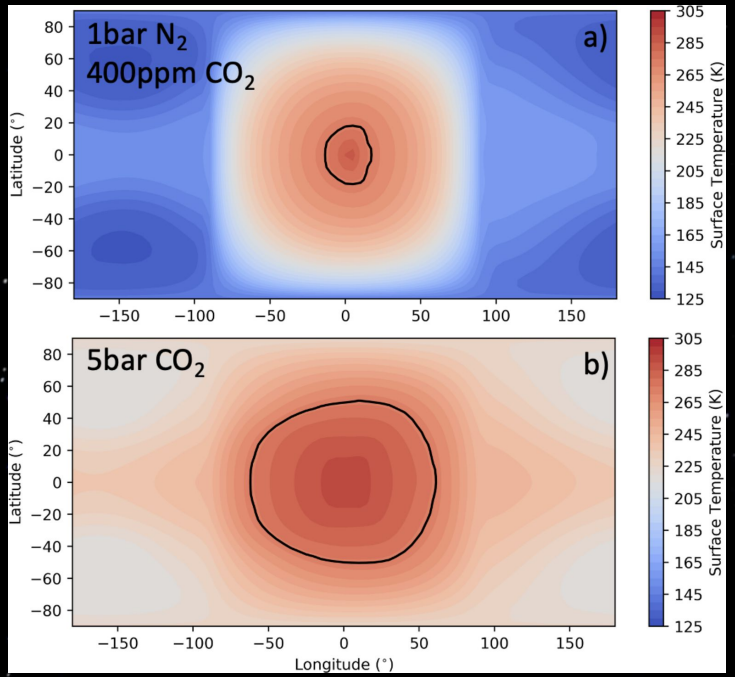
		
Rayon (rayon terrestre)	1.73	1.73
Masse (masse terrestre)	5.6	5.6
Atmosphère (composition)	H_2, He, CH_4	CO_2, N_2
Atmosphère (taille)	~700 km	~50 km

Planète en rotation synchrone

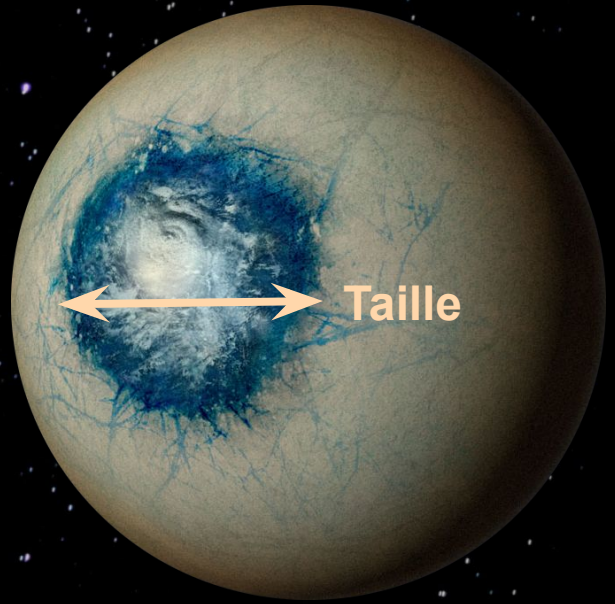
- LHS 1140 b est **10 fois plus proche** de son étoile que la Terre l'est du Soleil
- Les forces de marée plus importantes synchronisent **la rotation** (journée) et **la révolution** (année)
- La planète montre toujours la même face à son étoile (comme la Lune pour la Terre)



Carte de température de LHS 1140 b



Climat sur LHS 1140 b



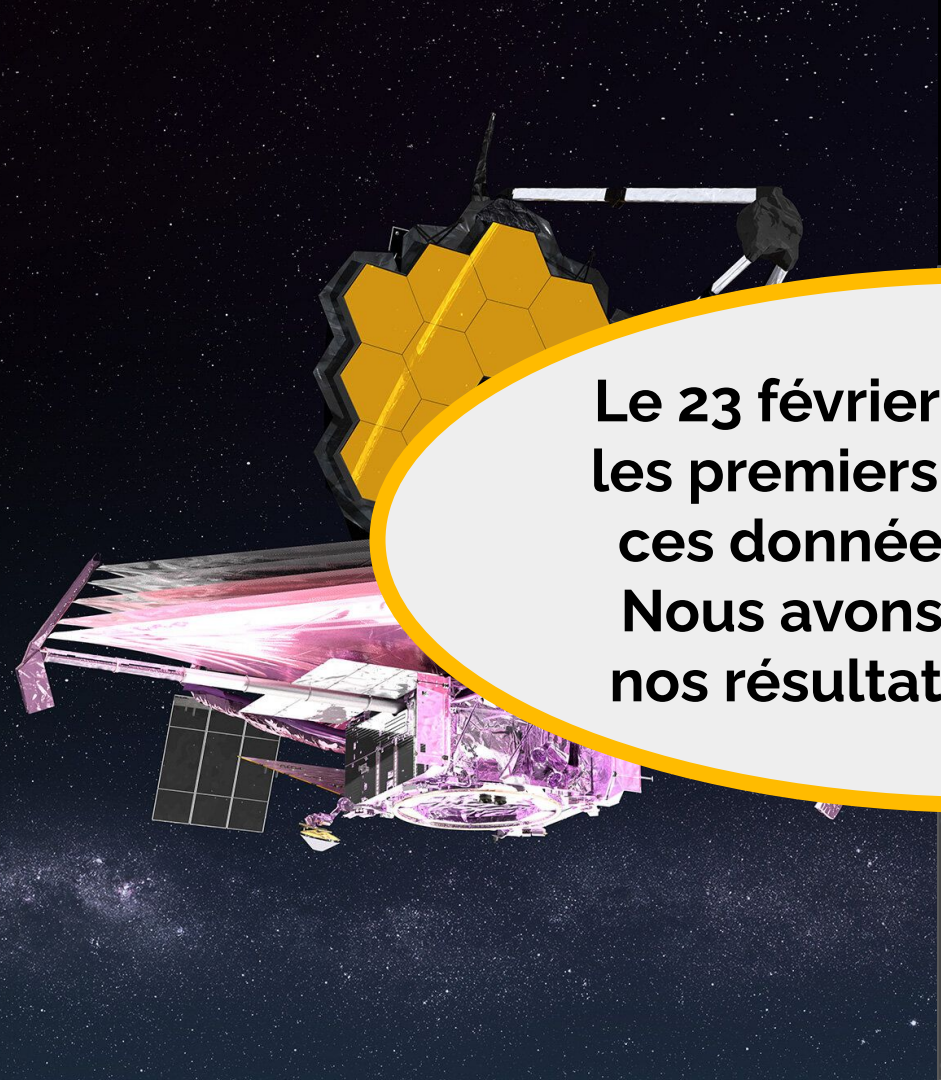
Hypothèse d'une planète océan



Notre programme James-Webb

- LHS 1140 b a une **visibilité limitée** de seulement 4 ou 5 transits observables par année
- Nous avons utilisé le James-Webb pour observer **2 transits en décembre 2023**
- Nous avons utilisé l'instrument **NIRISS** pour :
  - Mesurer le niveau d'activité stellaire
  - Confirmer/rejeter le scénario de mini-Neptune

Notre programme James-Webb



Le 23 février 2024, vous étiez les premiers au monde à voir ces données préliminaires! Nous avons depuis publiés nos résultats en juillet 2024

mitée de seulement 4

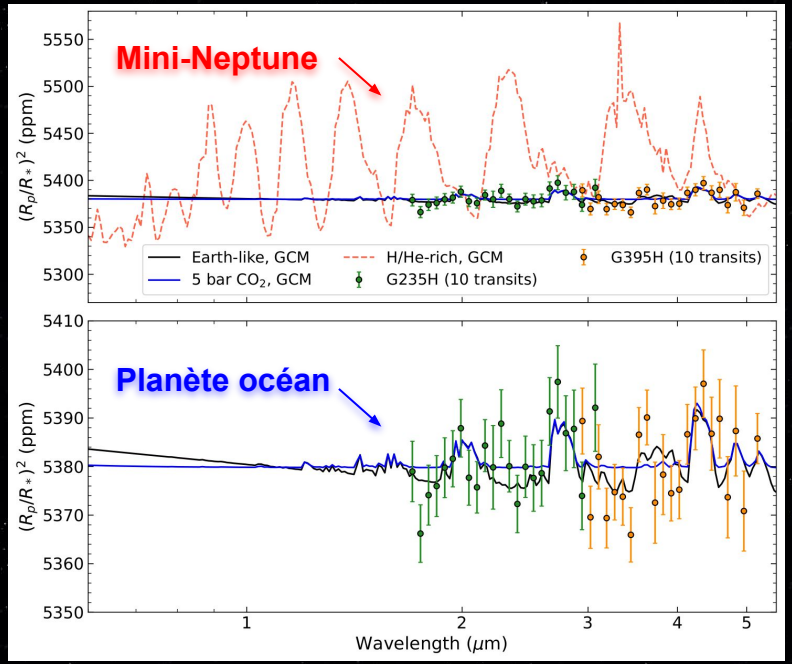
ée

pour observer **2**

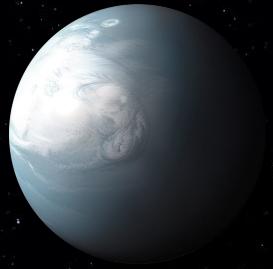
rnent **NIRISS** pour :

- Mesurer le niveau d'activité stellaire
- Confirmer/rejeter le scénario de mini-Neptune

LHS 1140 b: mini-Neptune ou planète océan?

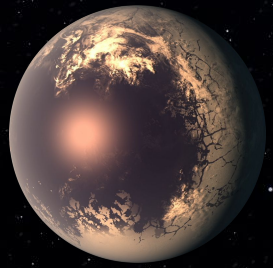


~700 km



Mini-Neptune
(H_2, CH_4, NH_3)

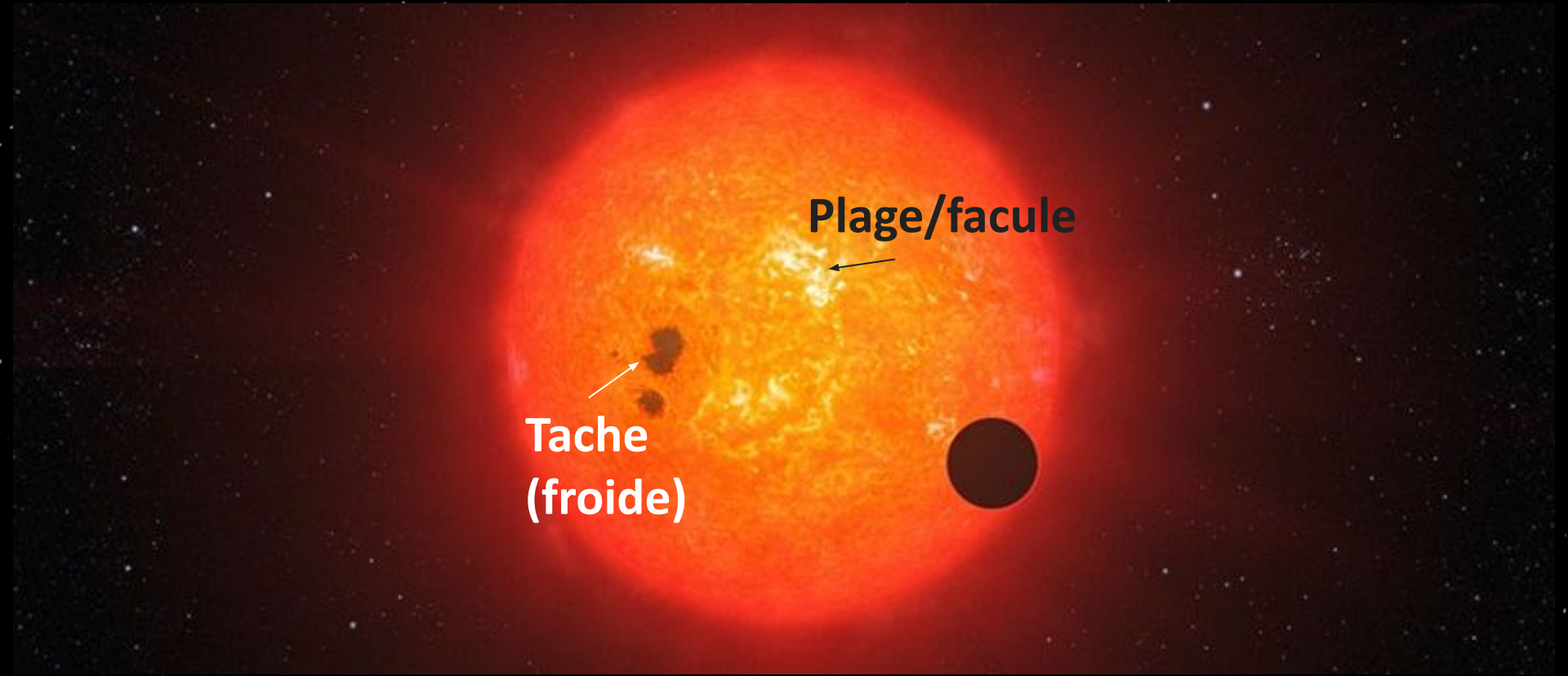
~50 km



Planète océan
(N_2?, CO_2)

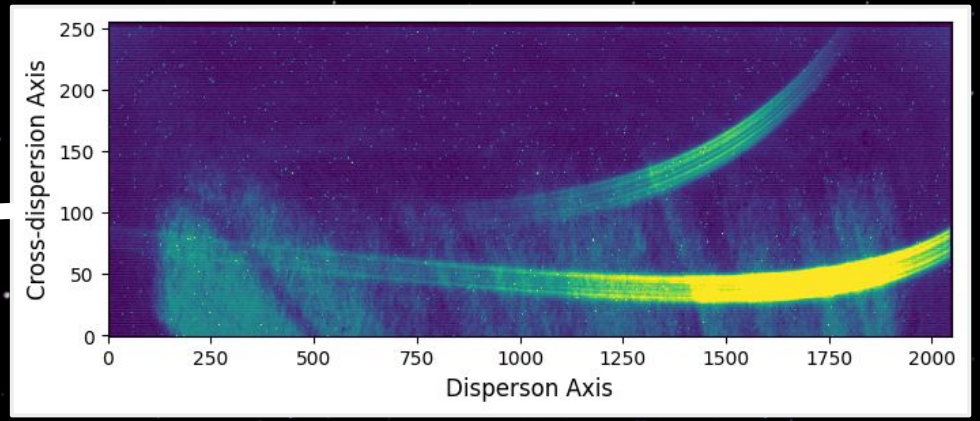
La spectroscopie de transit peut discerner ces deux scénarios

Les étoiles sont actives

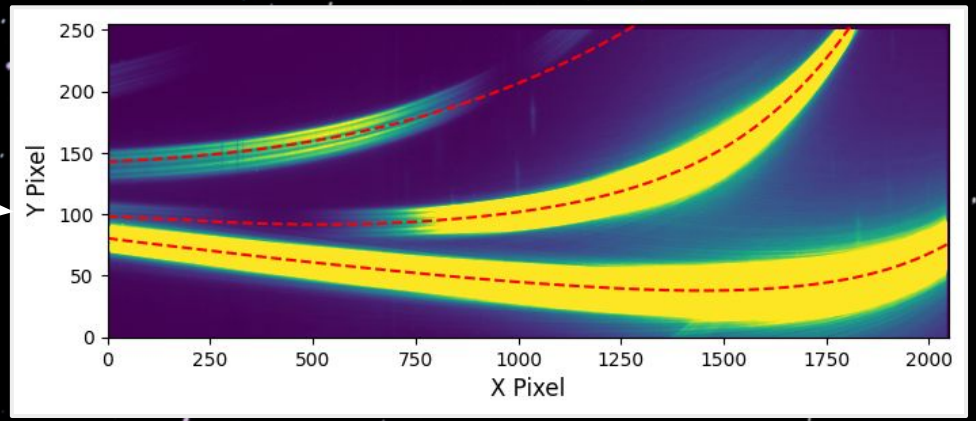


Signal atmosphérique fantôme induit par l'activité stellaire

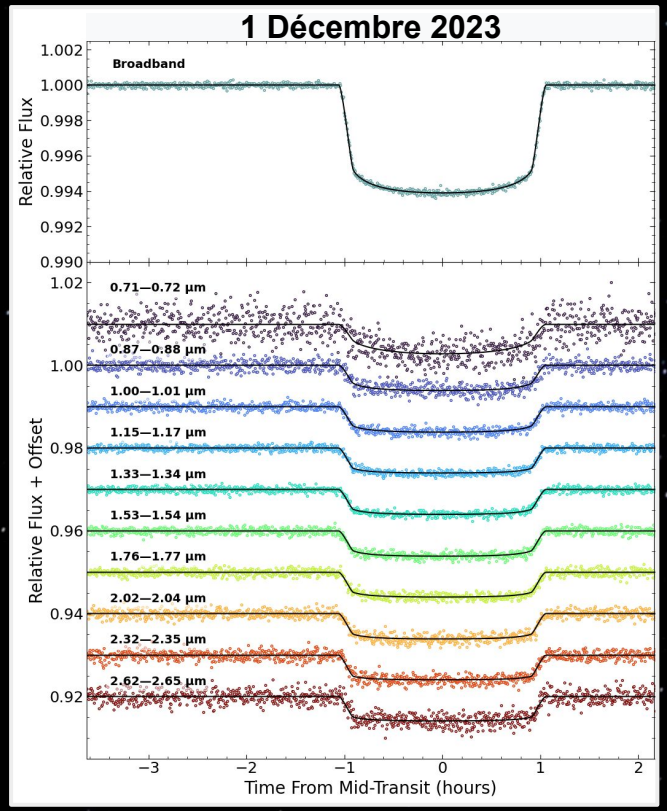
Données brutes du James-Webb (NIRISS)

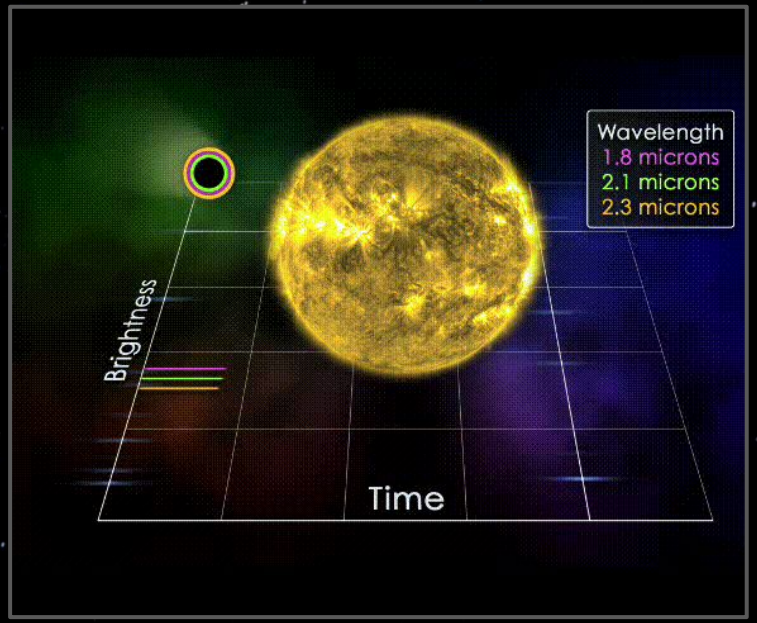


Traitement de données



Spectroscopie de transit avec James-Webb (NIRISS)



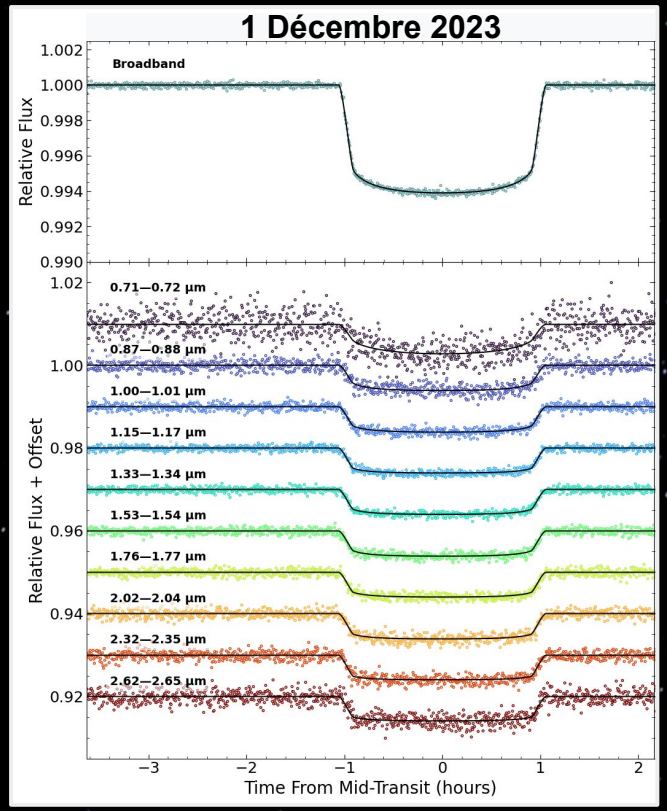


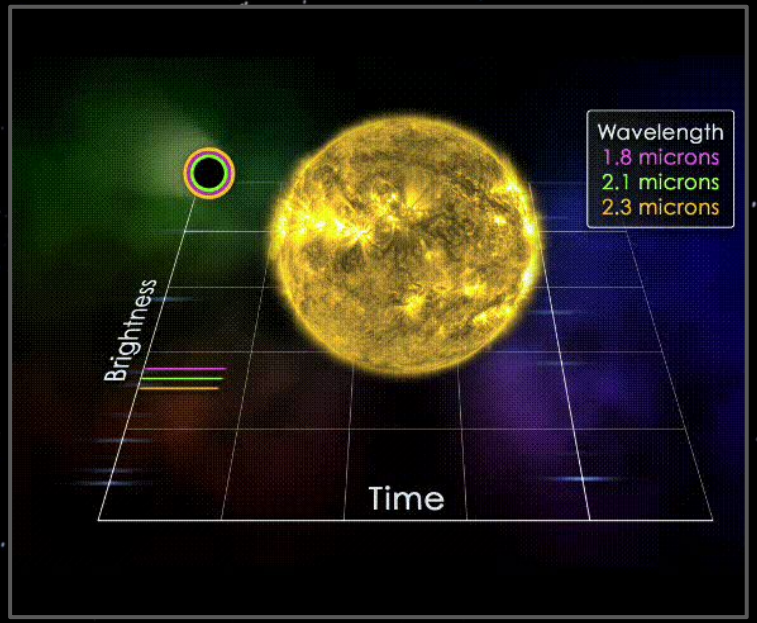
Spectroscopie de transit avec James-Webb (NIRISS)

Étoile calme

Peu de variabilité

Pas d'éruption



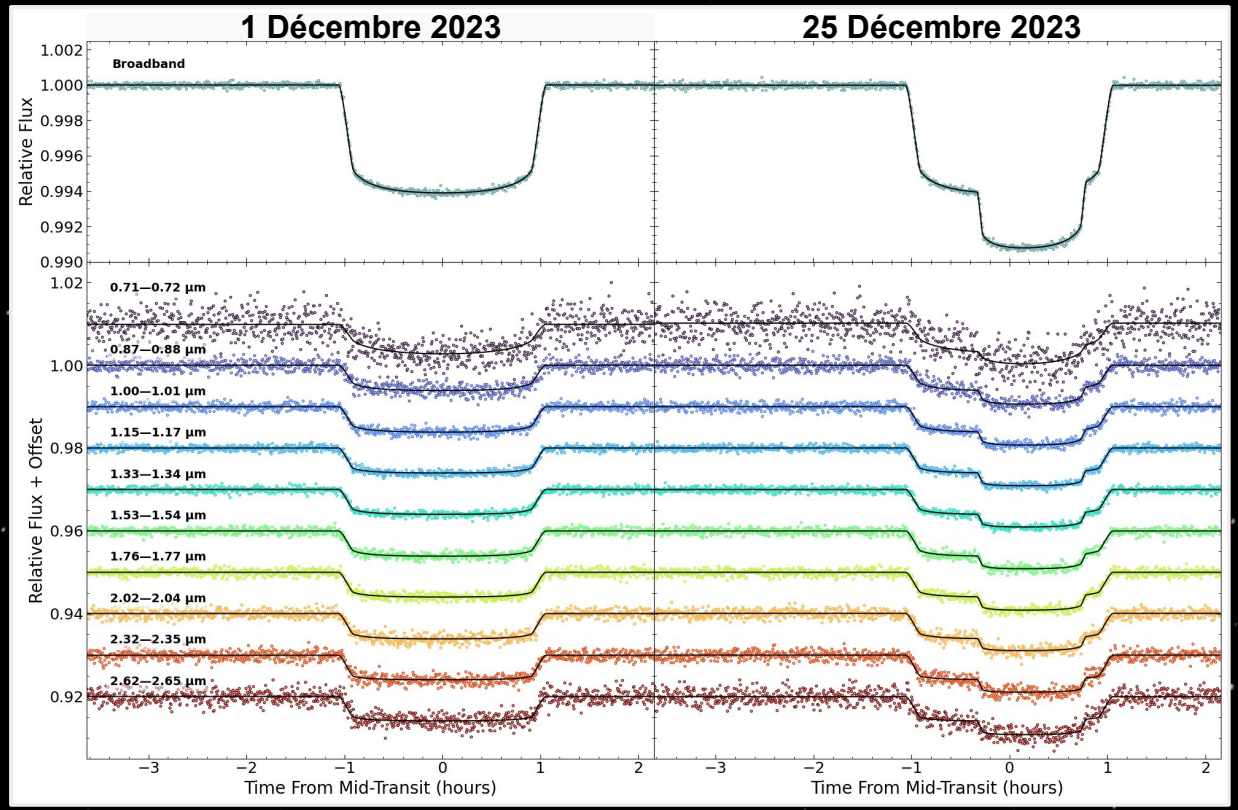


Spectroscopie de transit avec James-Webb (NIRISS)

Étoile calme

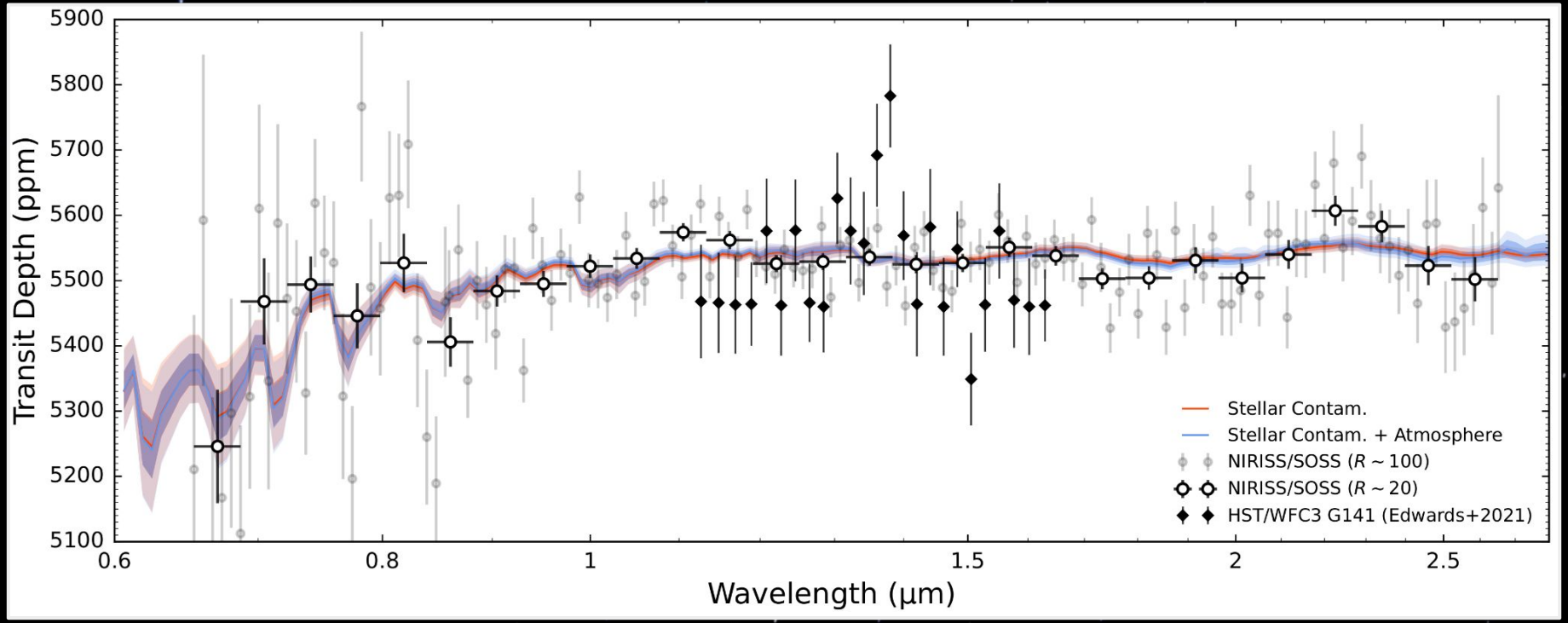
Peu de variabilité

Pas d'éruption

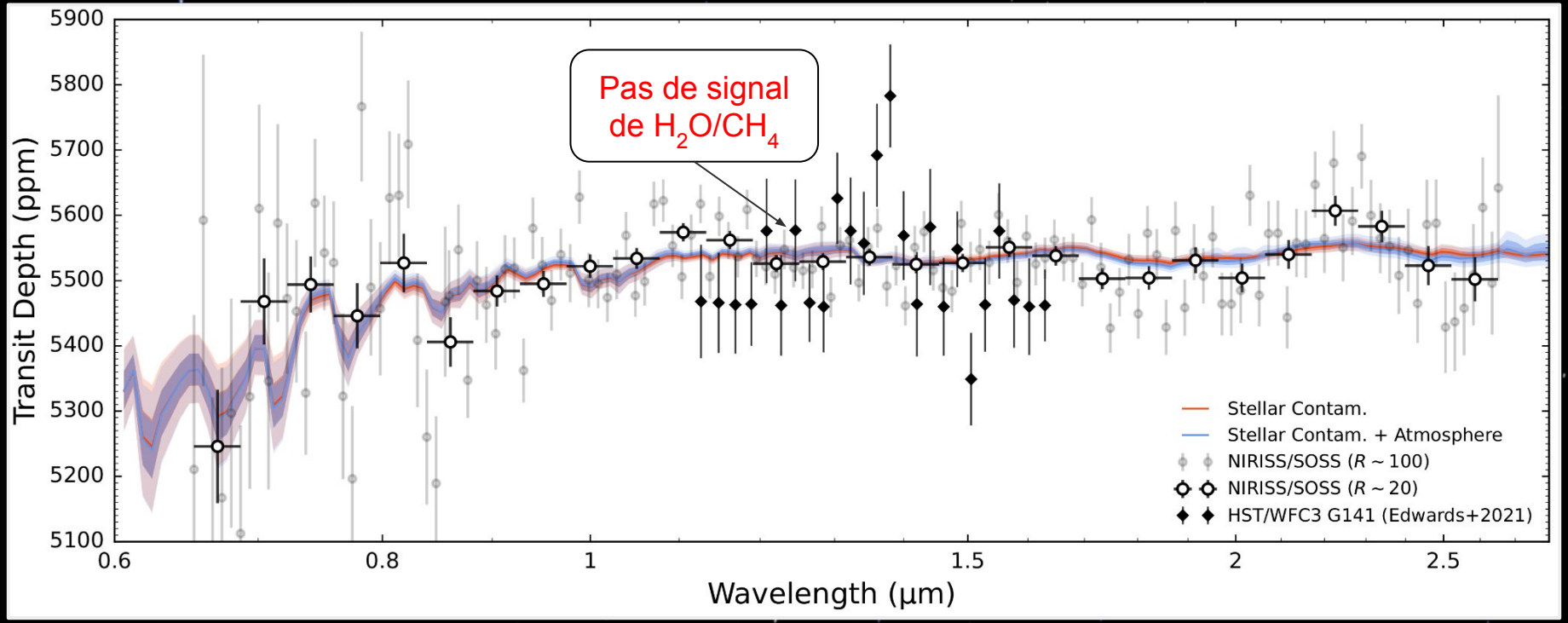


Un transit double avec LHS 1140 c!

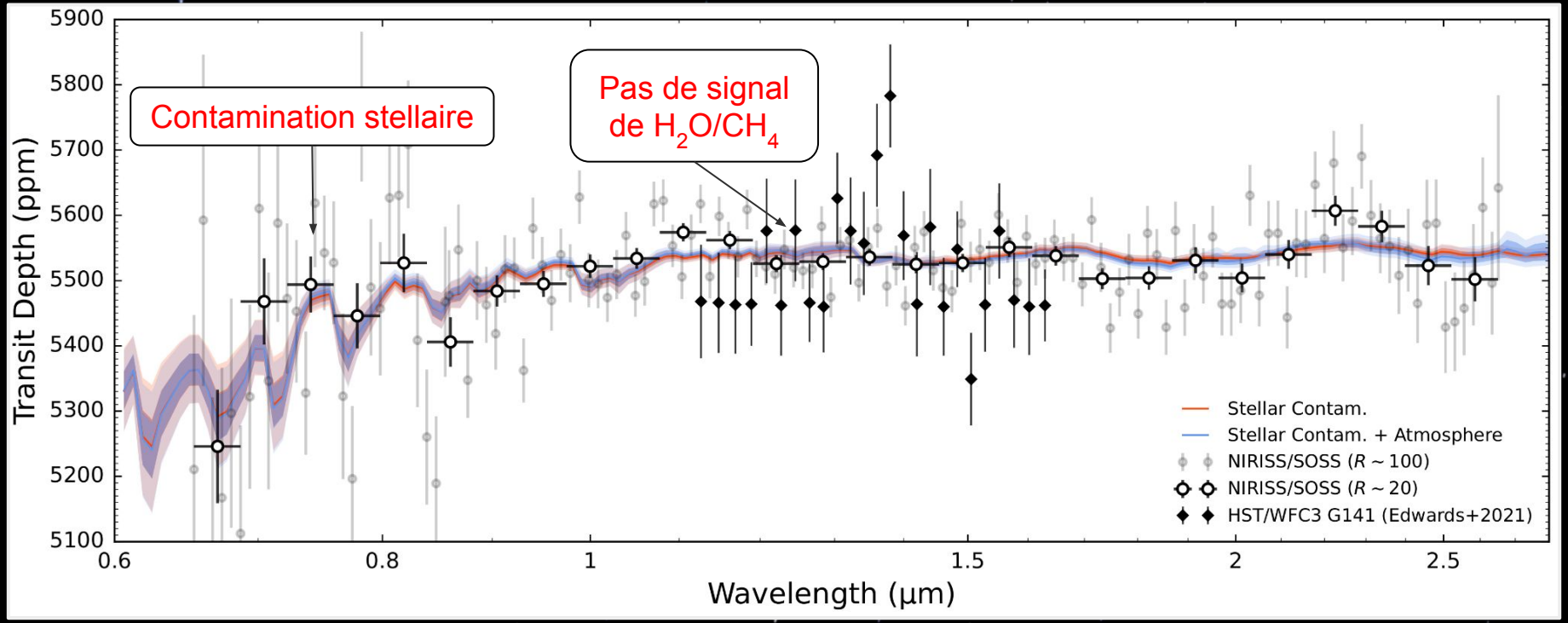
Spectre de transit de LHS 1140 b



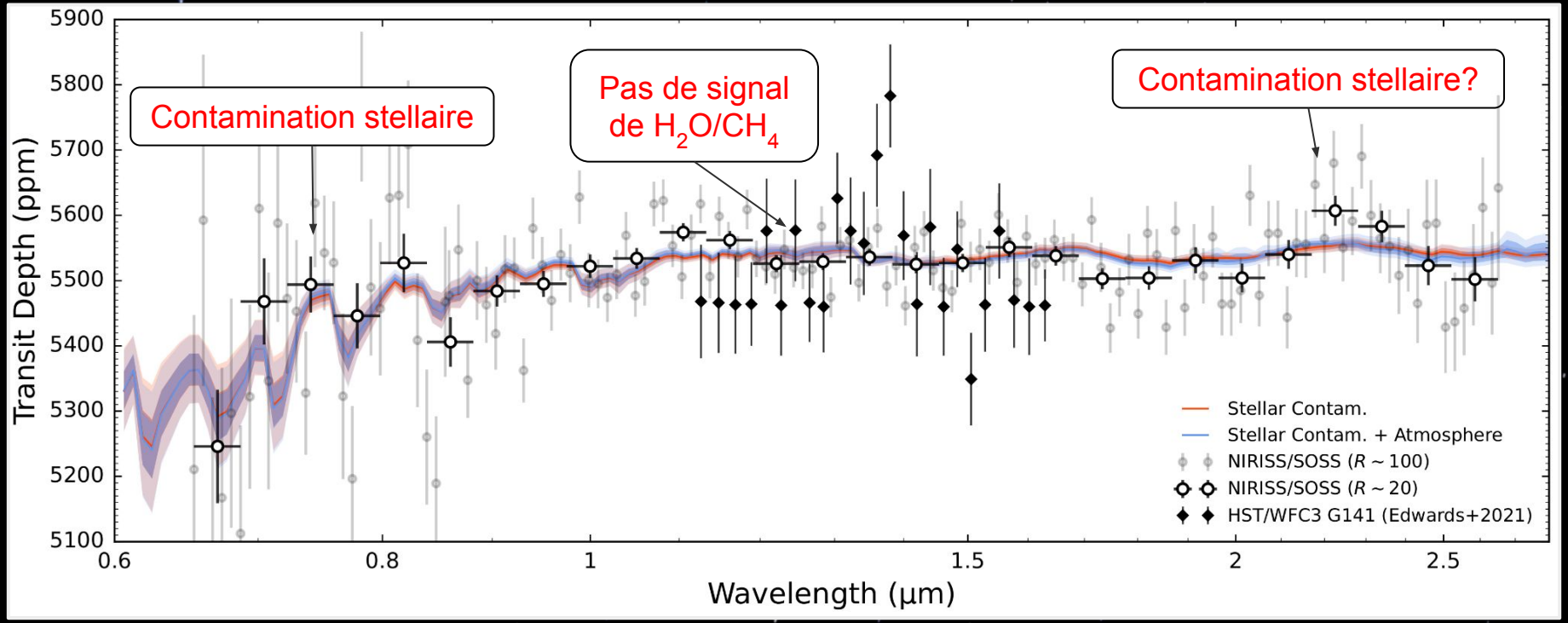
Spectre de transit de LHS 1140 b



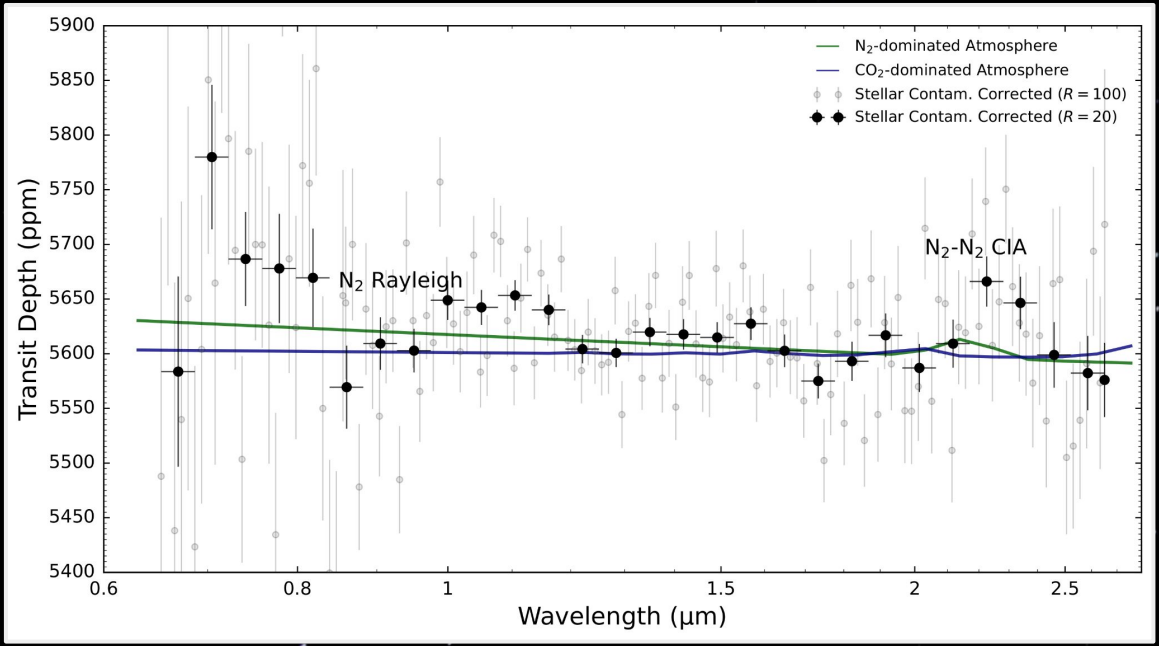
Spectre de transit de LHS 1140 b



Spectre de transit de LHS 1140 b



Spectre de transit de LHS 1140 b



- Une atmosphère pure en N_2 et sans nuages est préférée par les données (fausse alarme de 5%)
- Plus de données requises (3 transits) pour confirmer ce signal

Signature spectrale d’une atmosphère?

- Nos données préliminaires montrent que **LHS 1140 b** apparaît légèrement **plus grande dans le bleu** que dans le rouge
- La **diffusion Rayleigh** est un phénomène qui pourrait expliquer les observations

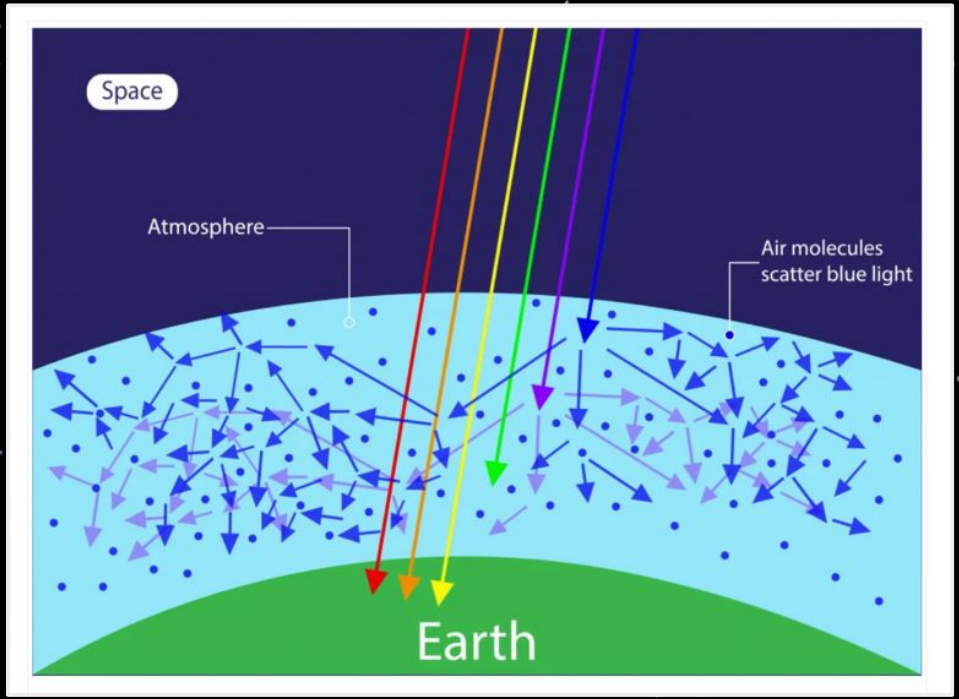
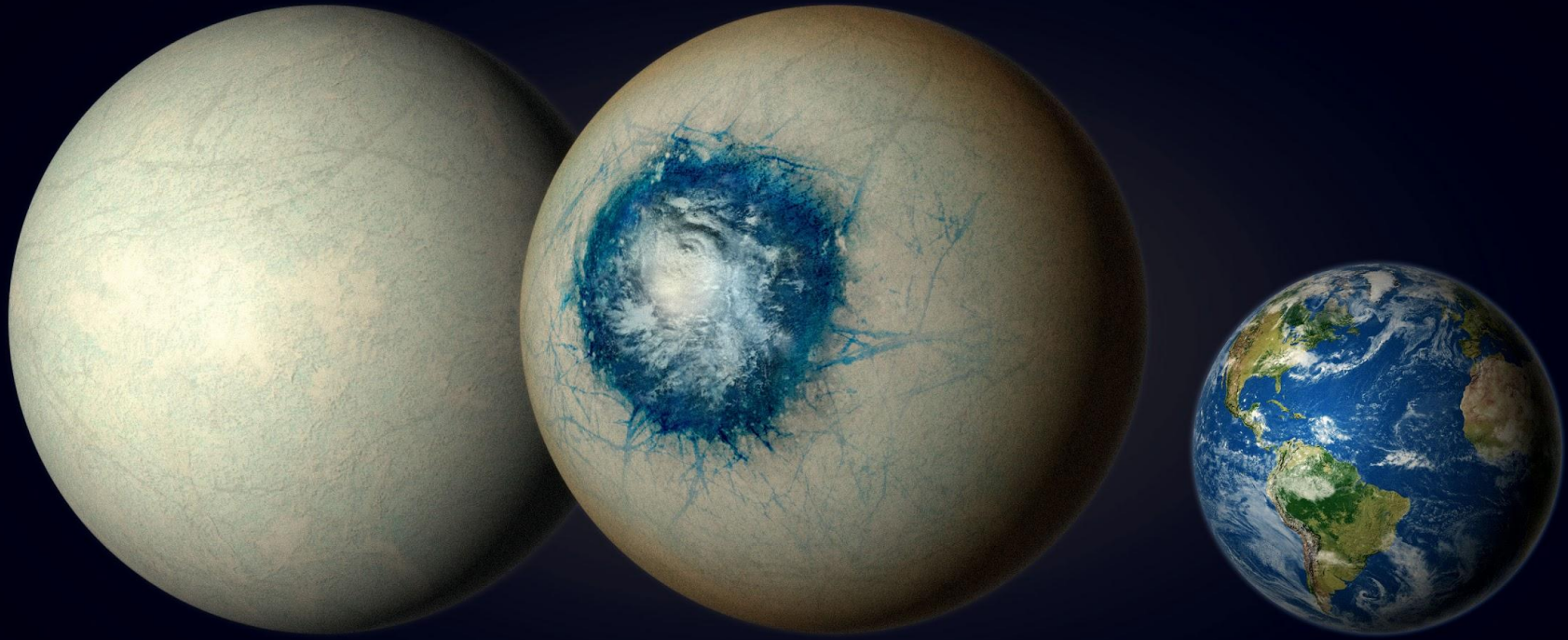


Illustration : Benoît Gougeon/UdeM

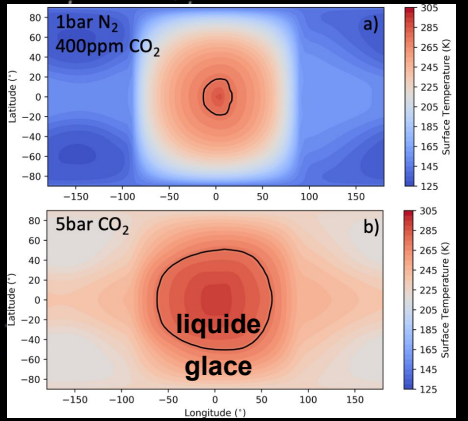


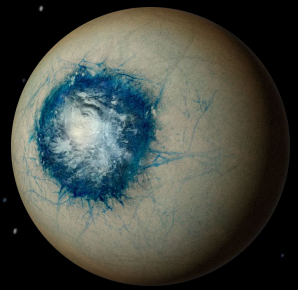
Sans atmosphère
(boule de glace)

Avec une atmosphère
(planète-océan)

Nous avons révélé la *vraie nature* de LHS 1140 b!

- Notre analyse des données du James-Webb révèle que :
  - **LHS 1140 b n'est pas composé d'hydrogène**. Son spectre est fortement incompatible avec le scénario de mini-Neptune
  - L'étoile hôte peu active et vieille produit tout de même de la **contamination stellaire**
  - **Une atmosphère dominée par du N_2** (comme sur Terre) est probable, mais le cas sans atmosphère est également possible
- ***LHS 1140 b est une planète océan probable, la meilleure cible pour inférer de l'eau liquide à la surface d'un monde extraterrestre***





Credit: Benoît Gougeon/UdeM

Institut Trottier
de recherche sur
les exoplanètes

Trottier Institute
for Research
on Exoplanets

IREX

Université de Montréal



Merci! Question?

Collaborateurs :
René Doyon, Olivia Lim, Étienne Artigau, Ryan MacDonald, Michael Radica, Loïc Albert, Caroline Piaulet, David Lafrenière, Louis-Philippe Coulombe, Alexandrine L'Heureux, Björn Benneke, Ryan Cloutier, Benjamin Charnay, Neil J. Cook, Lisa Dang, Thomas J. Fauchez, Marylou Fournier-Tondreau, Mykhaylo Plotnykov, Martin Turbet, Salma Salhi, Diana Valencia