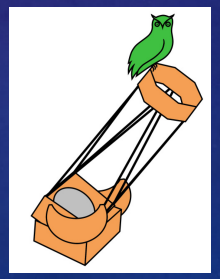
JAMES WEBB SPACE TÉLESCOPE
UN DÉFI TECHNOLOGIQUE
POUR LE FUTUR DE L'ASTRONOMIE

PRÉSENTATION: FLORIAN BELTRAMI 2022



1- Un peu d’histoire: genèse du projet et retard.

2- Conception du JWST

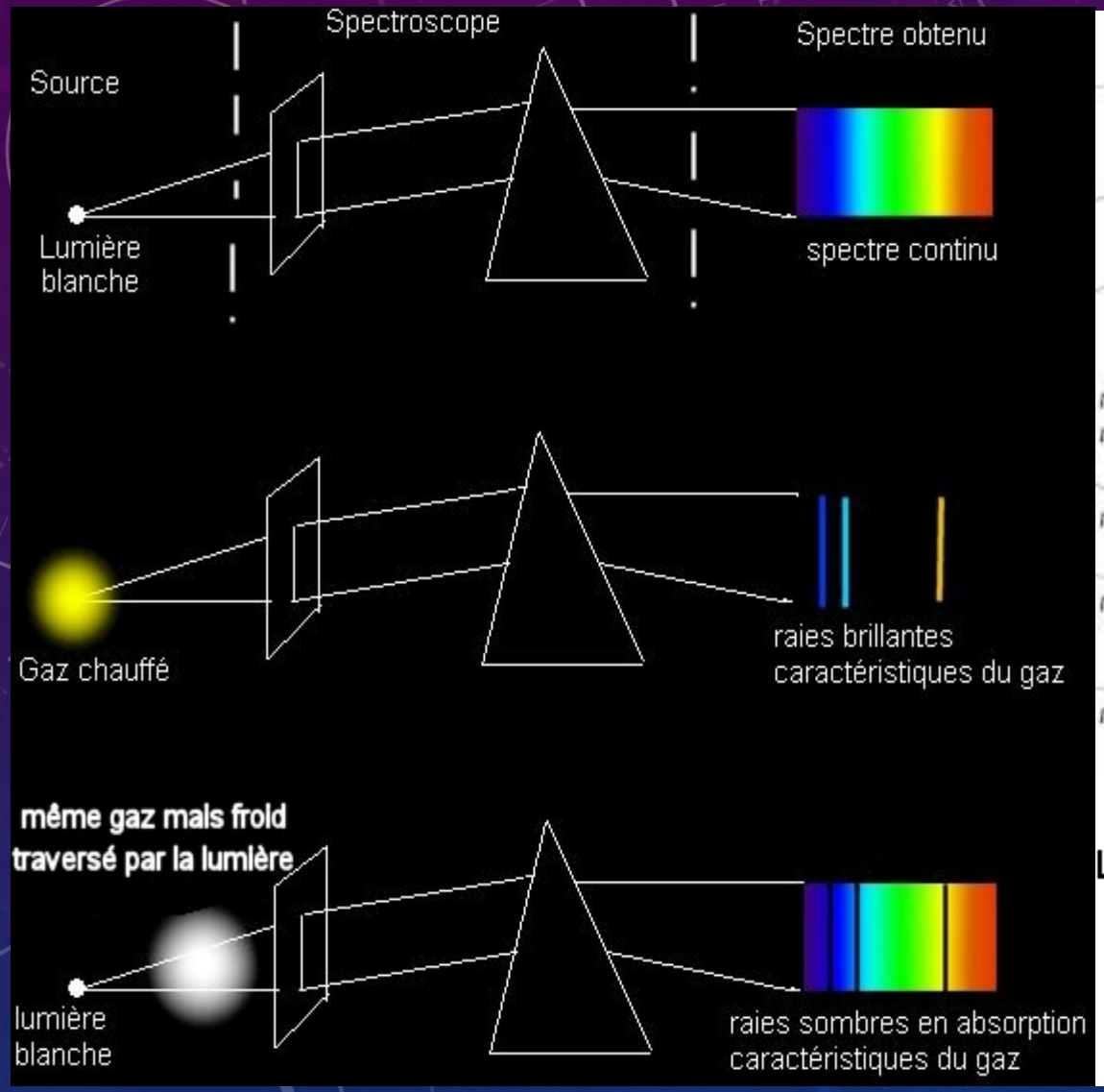
- Pas vraiment le successeur d'Hubble
- Un télescope pour l’infrarouge?
- Vue d’ensemble
- Conception optique Les leçons d'Hubble
- Un défi technique et logistique

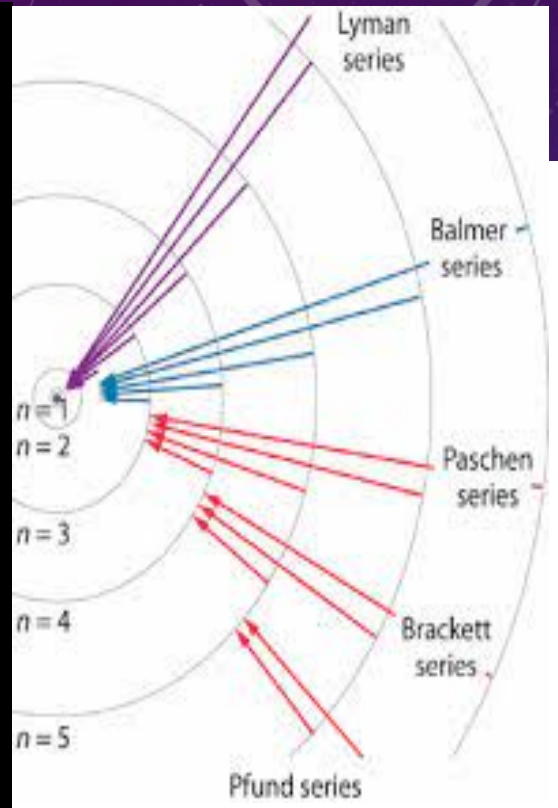
3- Les instruments installés

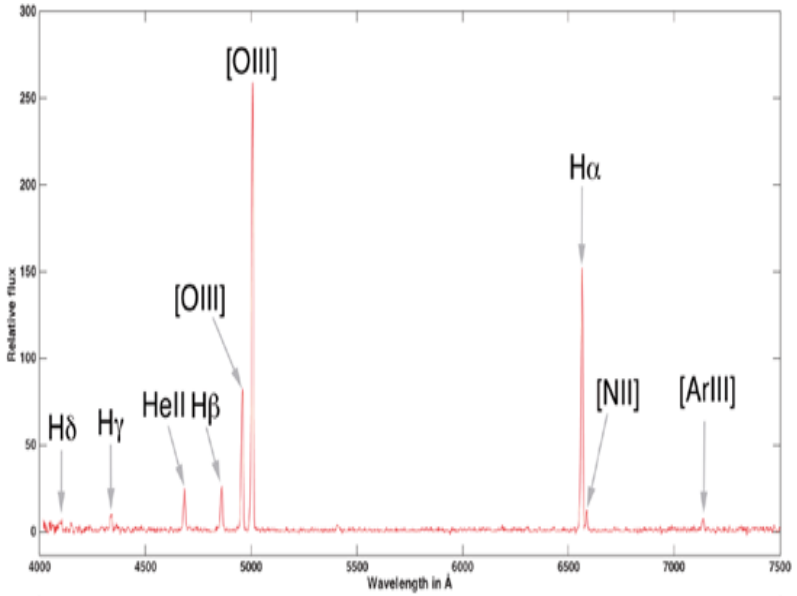
- Miri
- Nircam
- Niriss
- Nirspec

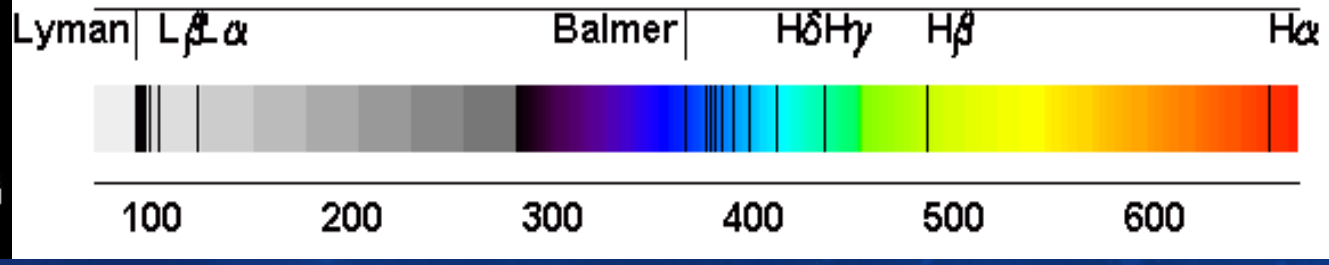
4- Pour quelle science?

- La fin de “l’âge sombre”: premières étoiles et galaxies, la réionisation.
- La formation et l’évolution des galaxies.
- La naissance des étoiles et des systèmes planétaires.
- Les systèmes planétaires (y-compris le notre) et l’origine de la vie.


Spectroscope
Source
Spectre obtenu
Lumière blanche
spectre continu
Gaz chauffé
raies brillantes caractéristiques du gaz
même gaz mais froid traversé par la lumière
lumière blanche
raies sombres en absorption caractéristiques du gaz


Lyman series
Balmer series
Paschen series
Brackett series
Pfund series
n = 1
n = 2
n = 3
n = 4
n = 5


[OIII]
Hα
[OIII]
HeII Hβ
Hδ
Hγ
[NII]
[ArIII]
Relative flux
Wavelength in Å


Lyman
Lβ Lα
Balmer
Hδ Hγ
Hβ
Hα
100
200
300
400
500
600

1- Un peu d’histoire: genèse du projet et retard.

Un peu d'histoire: genèse et retard

- 1990: Les premières réflexions: dès le lancement de Hubble, la NASA réfléchit sur l'avenir des télescopes spatiaux, on sait déjà que Hubble ne permettra pas de répondre à toutes les questions de la cosmologie et des engins plus importants sont en réflexion. Les problèmes de Hubble stoppent le processus.

- 1993: Relance des études, Plusieurs projets de télescopes de 4 m furent alors proposés.

- 1995: Le directeur de la NASA, Dan Goldin, mettait la communauté astronomique en instance de penser « Plus vite, Meilleur et Moins Cher » (le fameux « Faster, Better, Cheaper«) et lance l'idée d'un projet de télescope de 8 m à un coût inférieur à celui des télescopes précédents à 500 millions de dollars….. Raté!

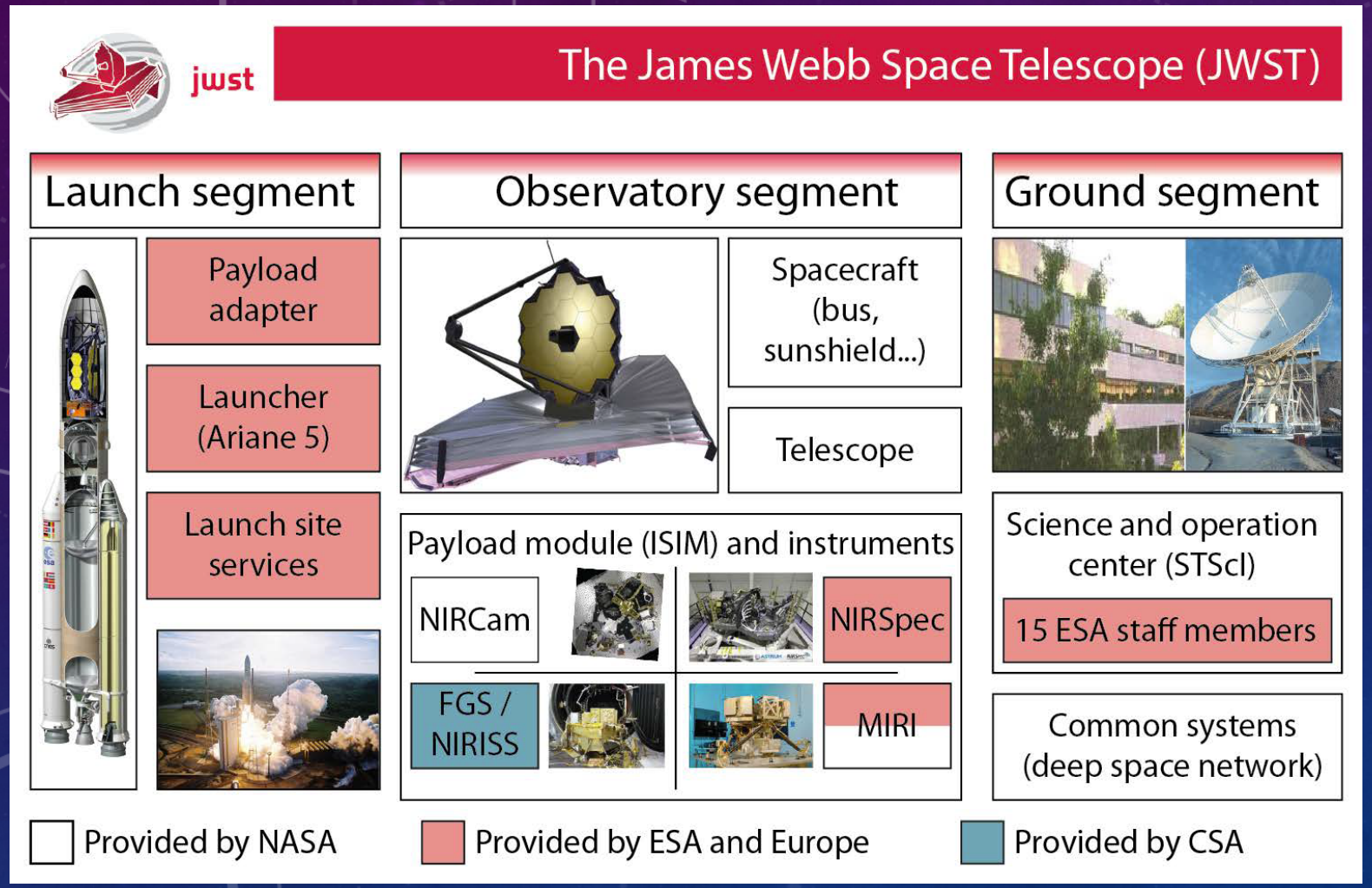
- 2001: Le projet du télescope appelé NGST (Next Generation Space Telescope) sera réduit à 6 mètres pour conserver un budget acceptable et un lancement prévu en 2009.

- 2002: Le NGST s'appellera le JWST (James Webb Space Telescope)

- 2021: Lancement du télescope avec 14 ans de retard sur les objectifs initiaux et un budget de 10 milliards de dollars!

Un peu d'histoire: genèse et retard

- Le JWST sera construit au sein d'une collaboration de 3 agences spatiales: la NASA, l'Agence Spatiale Européenne - ESA et l'Agence Spatiale Canadienne - ASC .

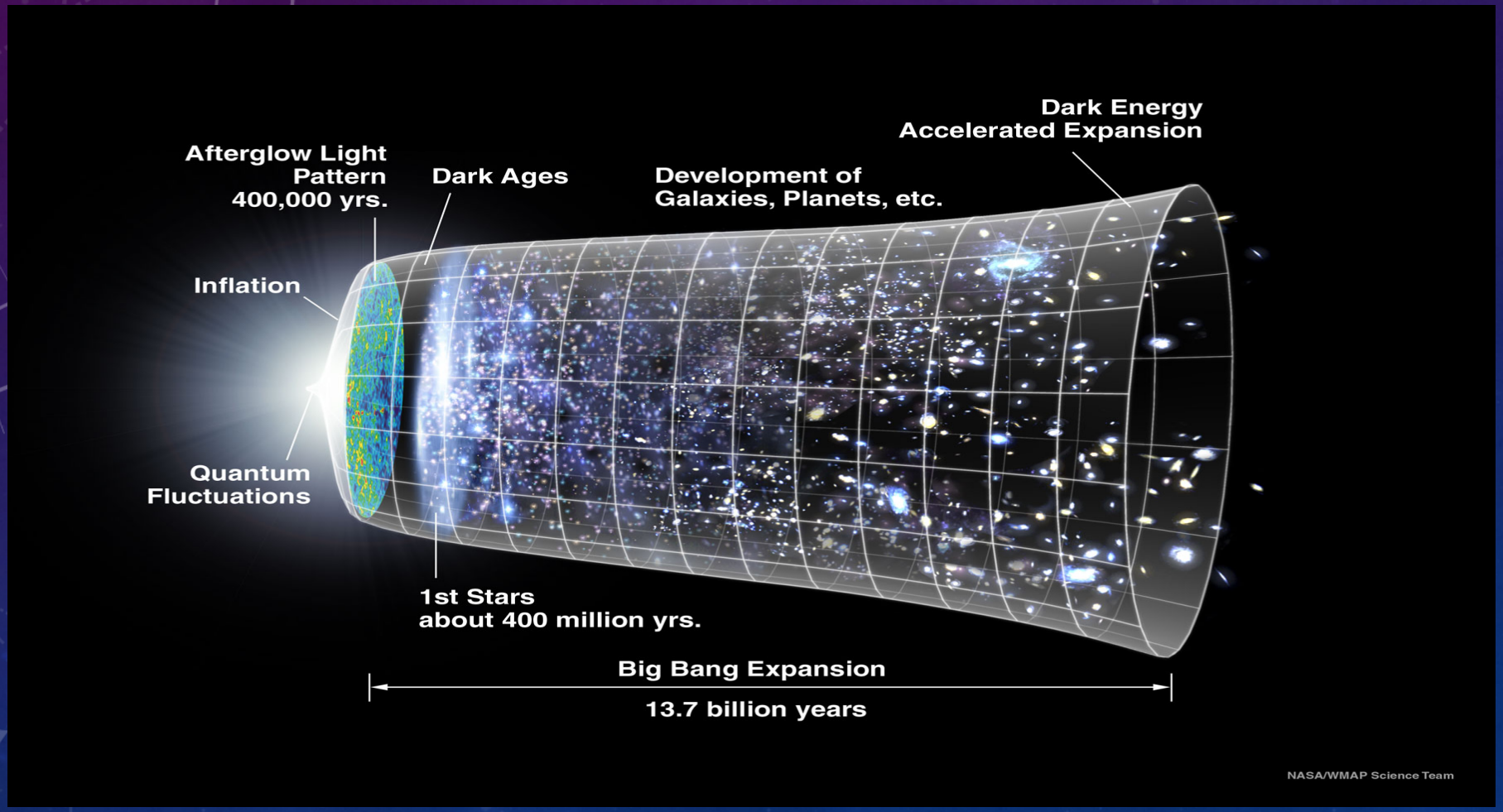


Source ESA: P.Ferruit

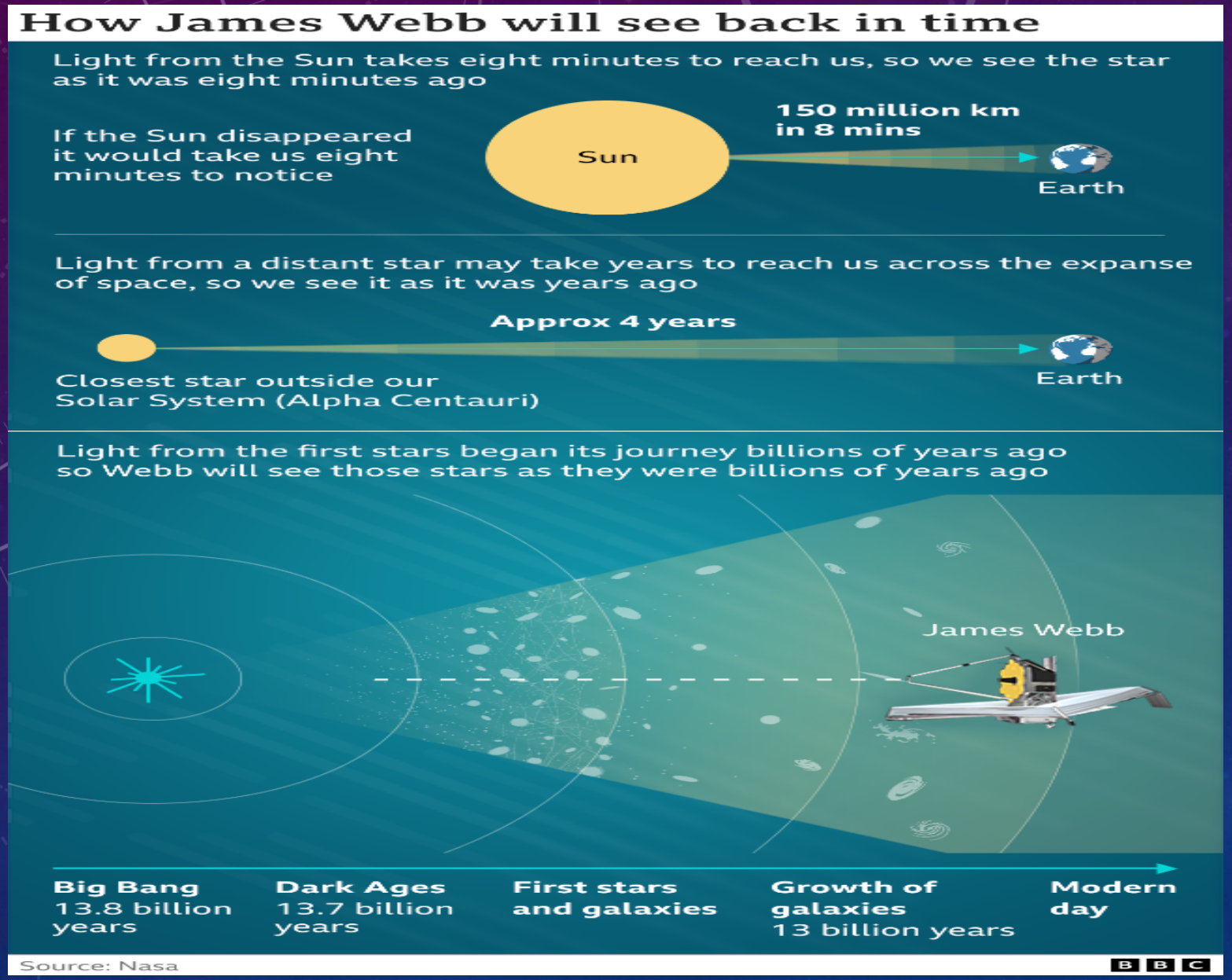
2- Conception du JWST.

Pas Vraiment le successeur de Hubble

L'objectif premier du JWST est l'étude de l'histoire de l'univers jeune, de la formation des premières étoiles, des premières galaxies et leur évolution; ce sera une formidable machine à remonter le temps et cela a un impact direct sur sa conception

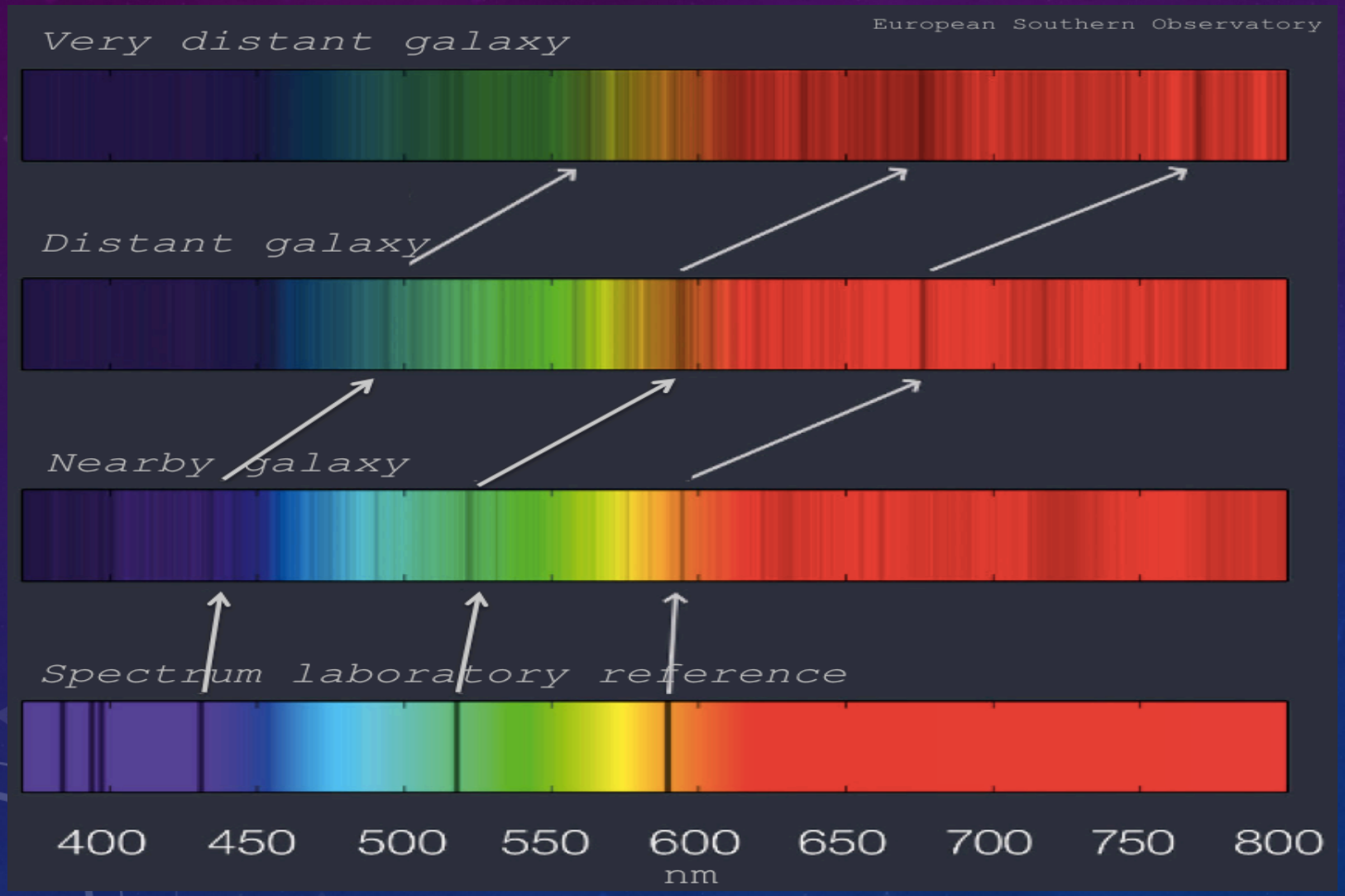


Pas Vraiment le successeur de Hubble



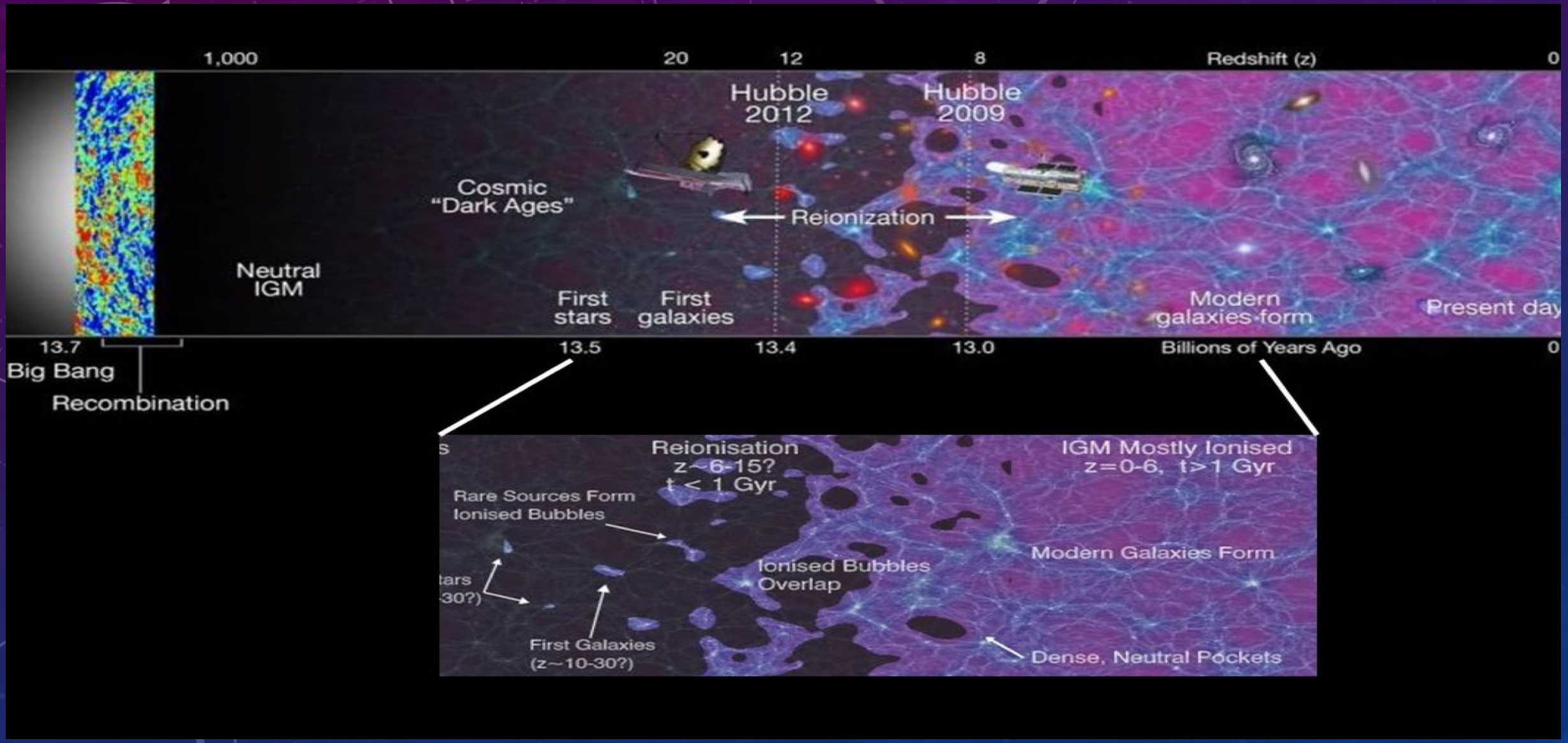
Un télescope conçu pour l'infrarouge

Expansion de l'univers: Décalage du spectre des galaxies vers le rouge:



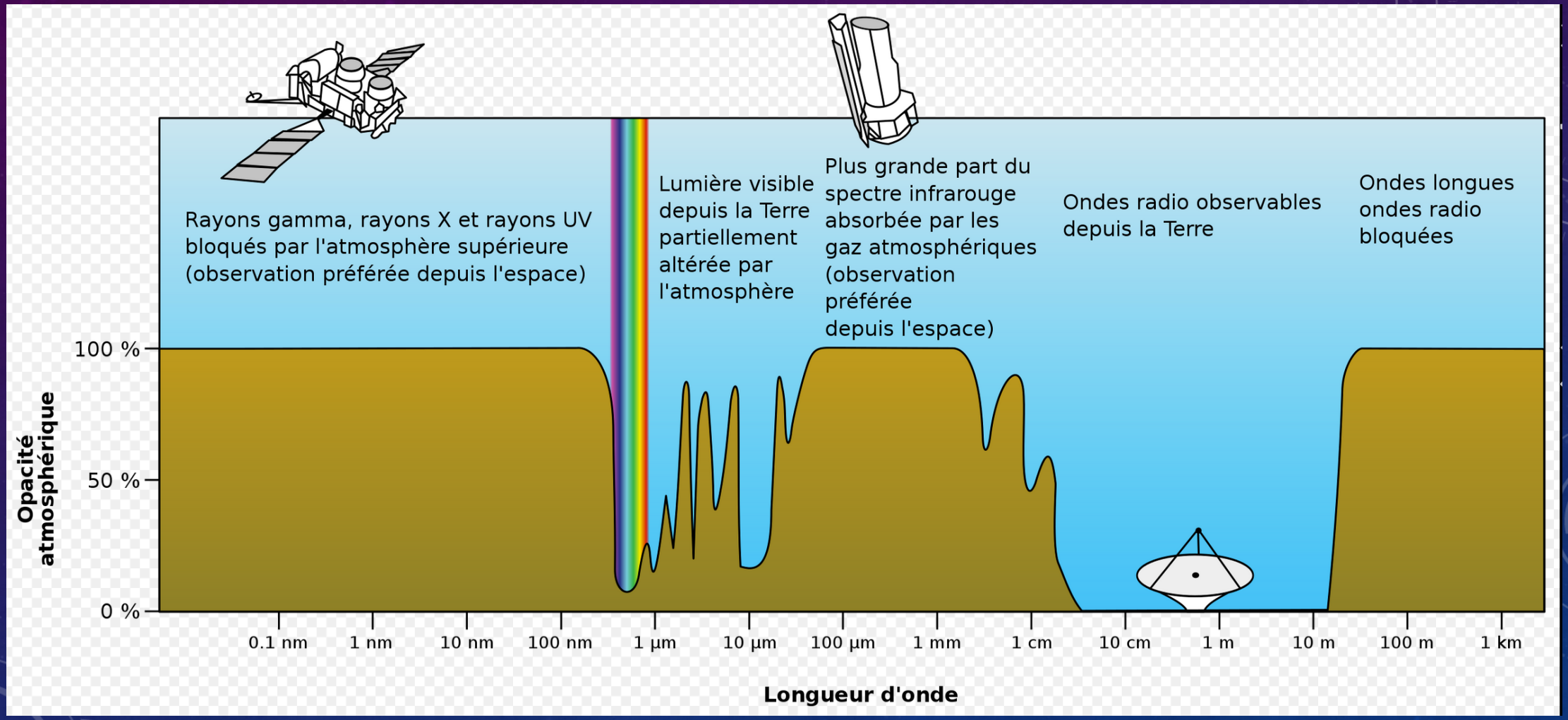
$$z = \frac{(\lambda_{observé} - \lambda_{repos})}{\lambda_{repos}}$$

Pas Vraiment le successeur de Hubble



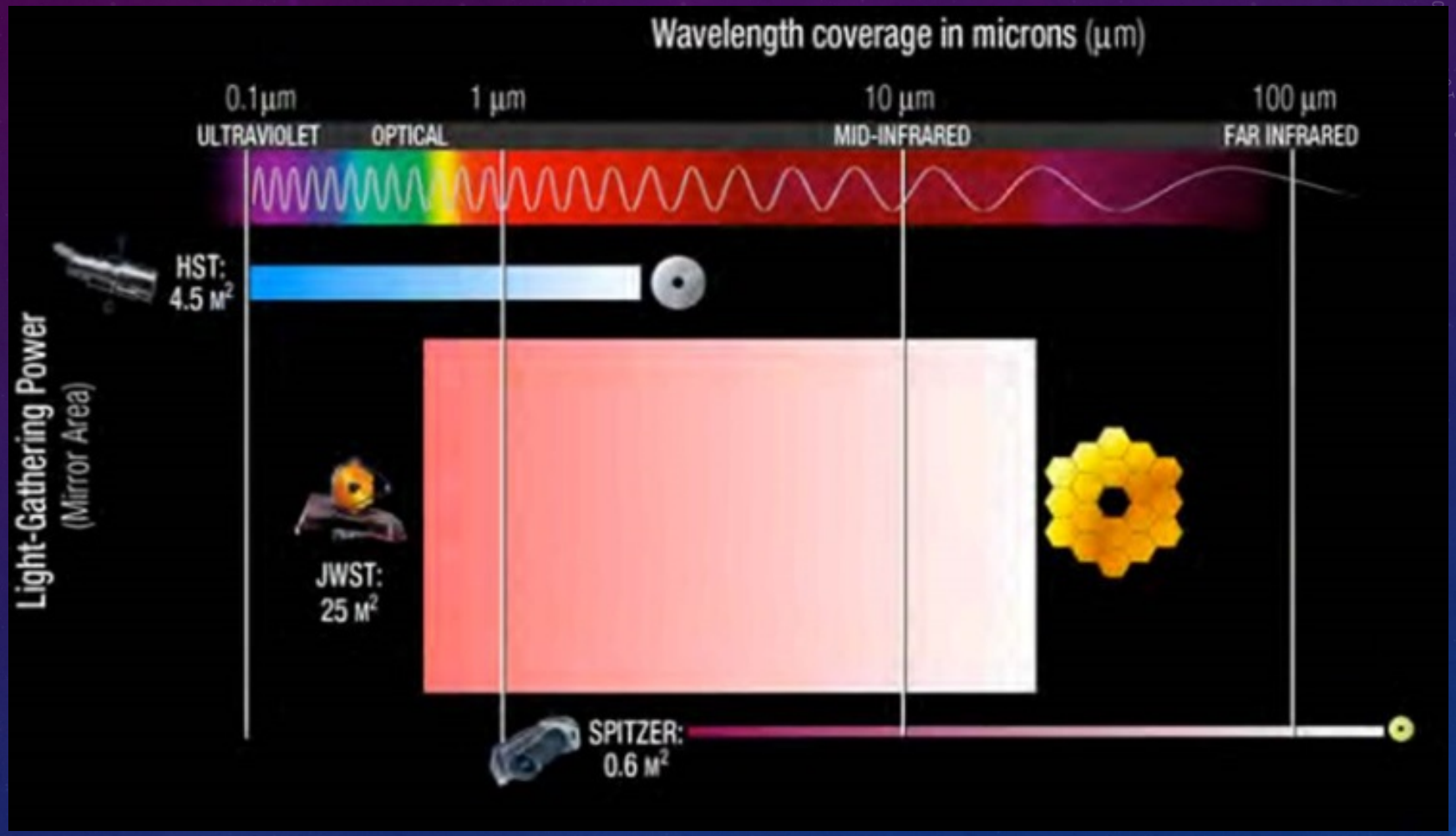
Un télescope conçu pour l'infrarouge

:



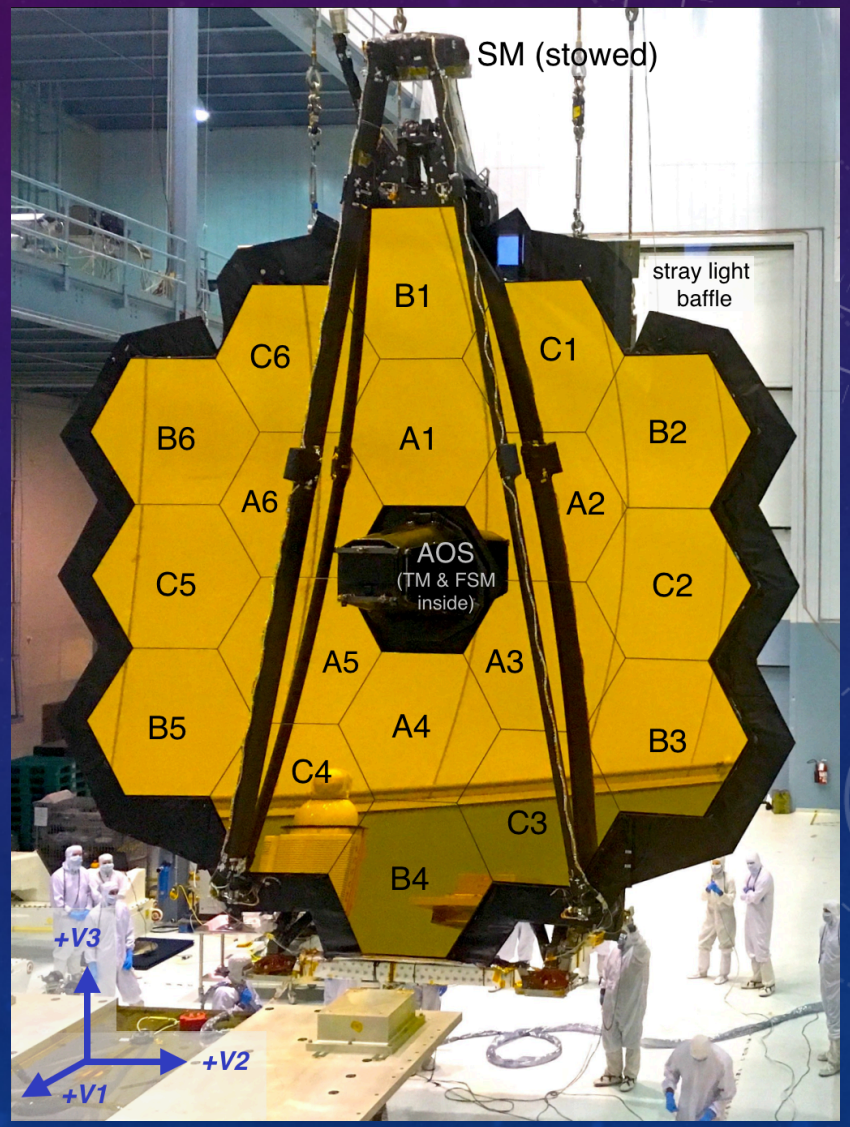
Source : NASA

Un télescope conçu pour l'infrarouge



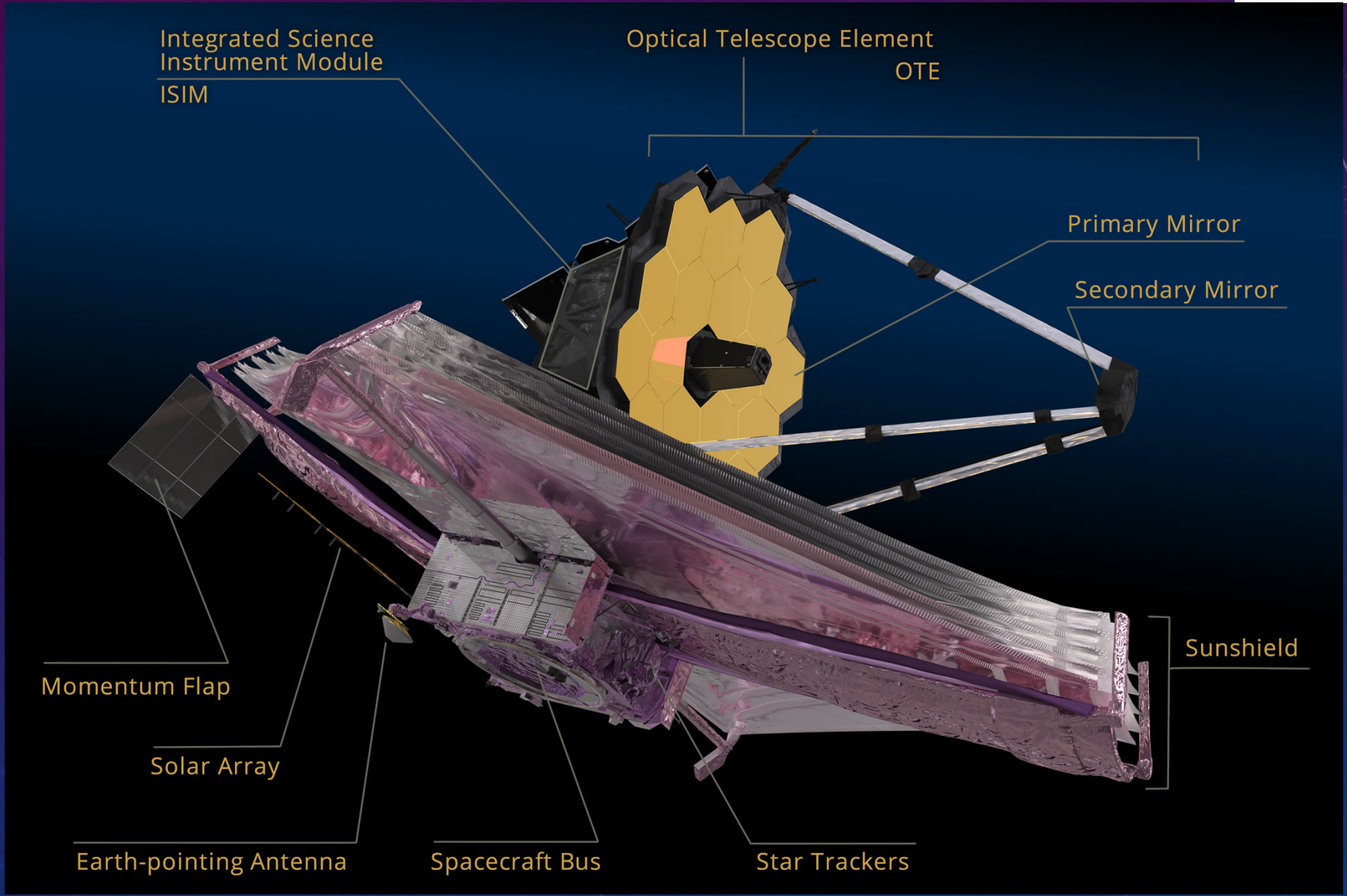
Un télescope conçu pour l’infrarouge

Vue d’ensemble du JWST



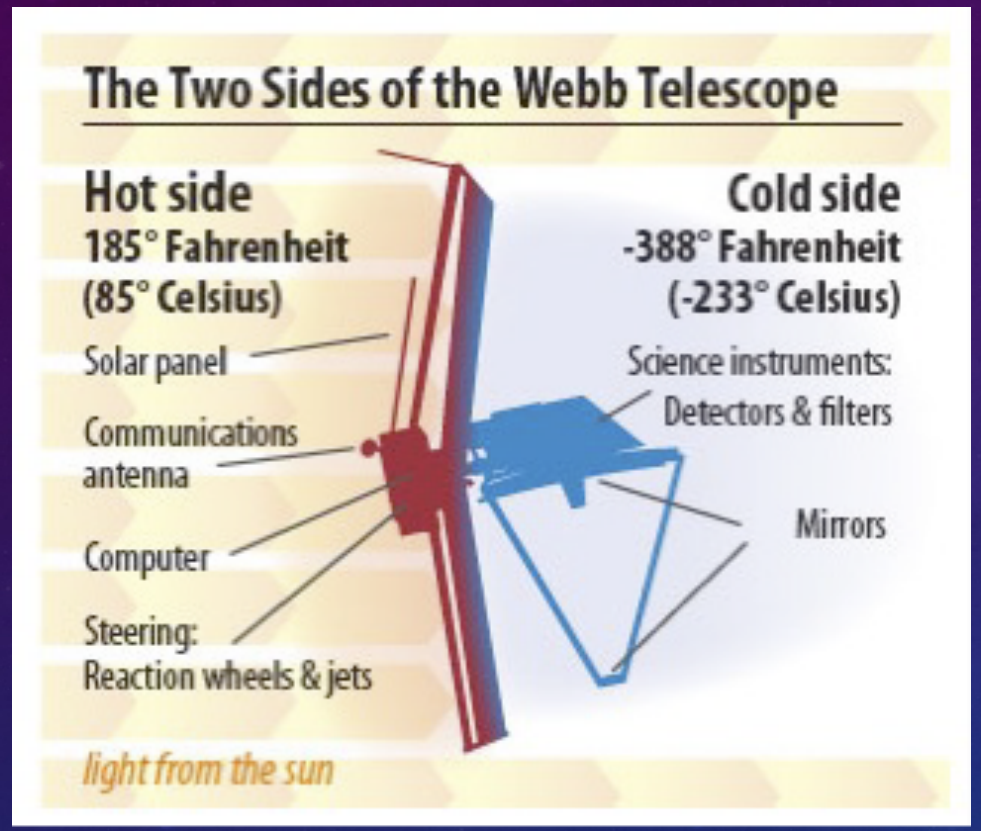
Source: NASA

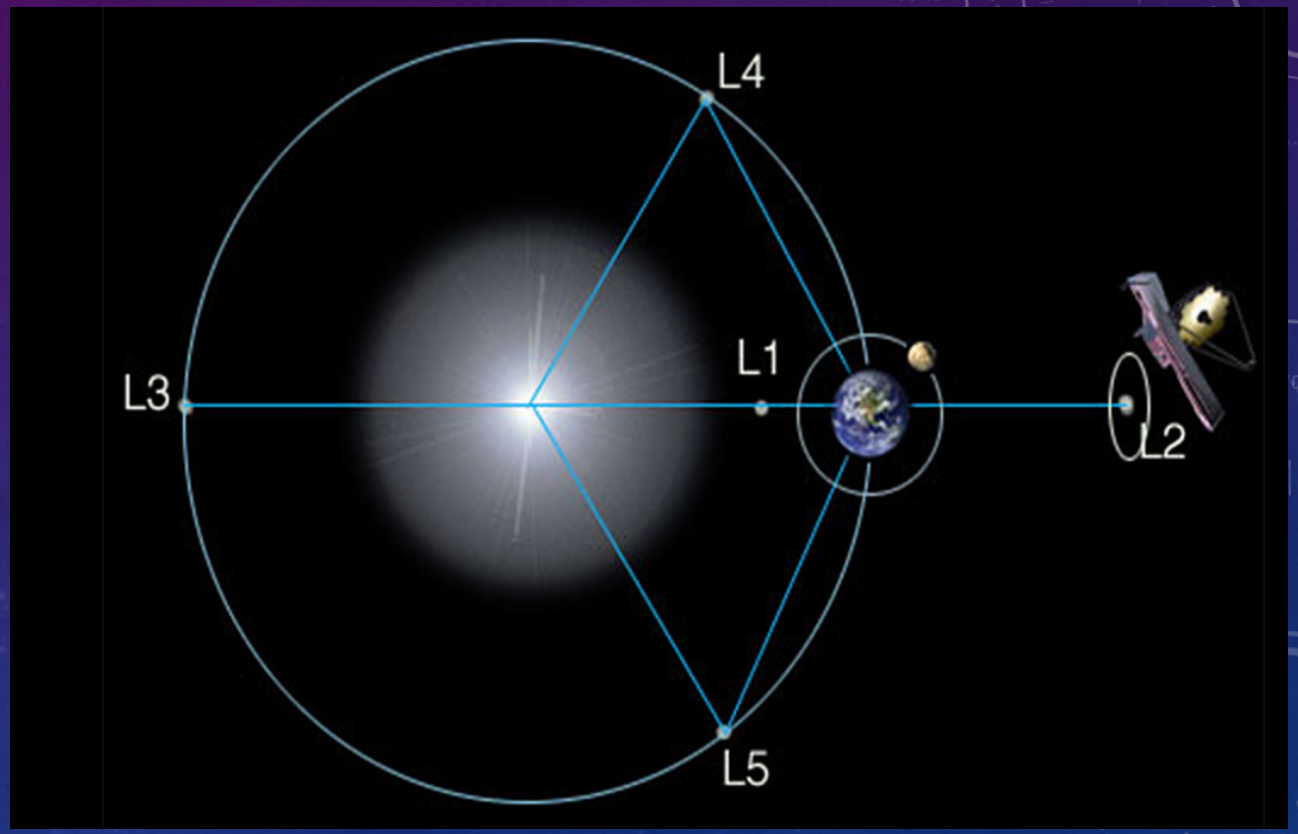
Vue d’ensemble du JWST



Source: NASA

Vue d'ensemble du JWST



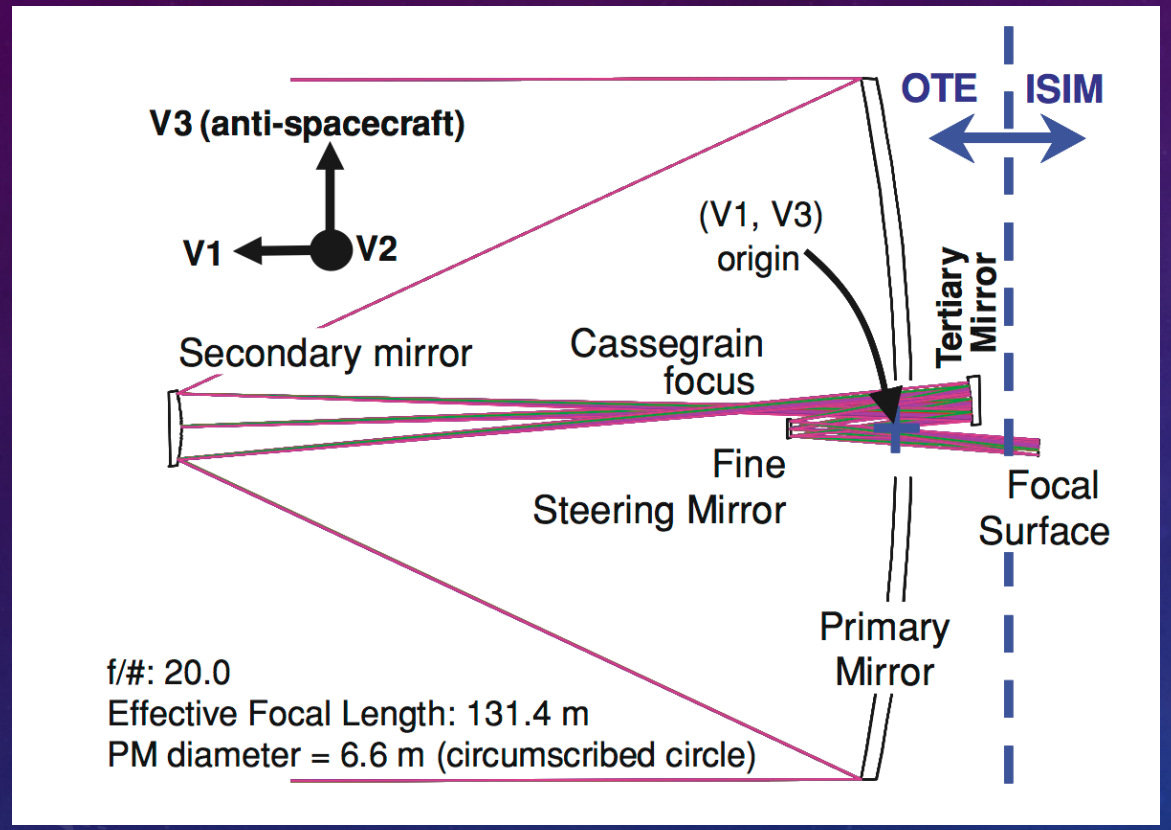


Source: ESA

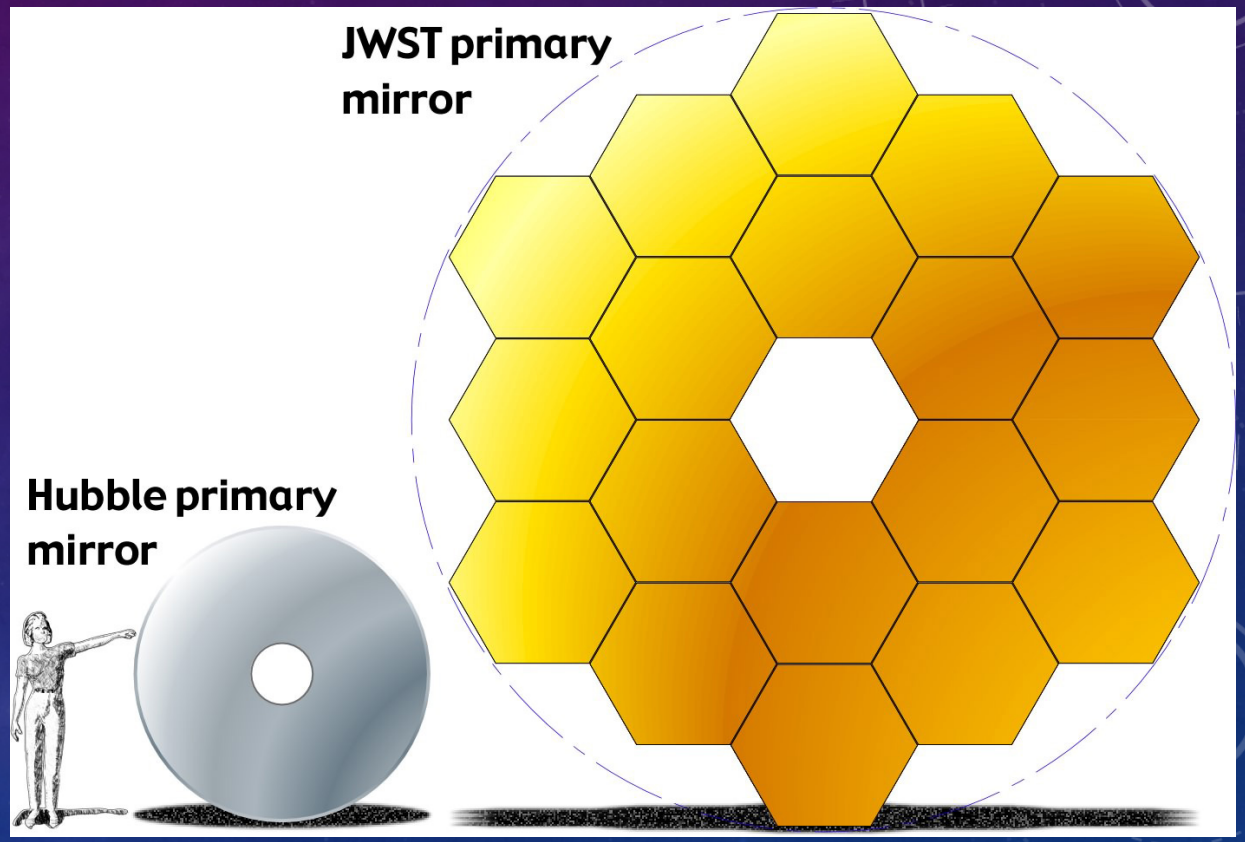
La conception optique: les leçons de Hubble

Source: NASA

La conception optique: les leçons de Hubble

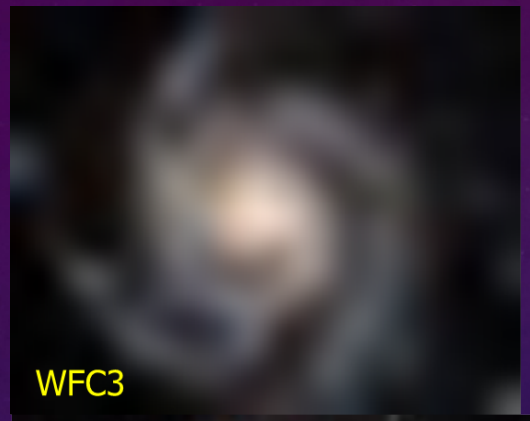


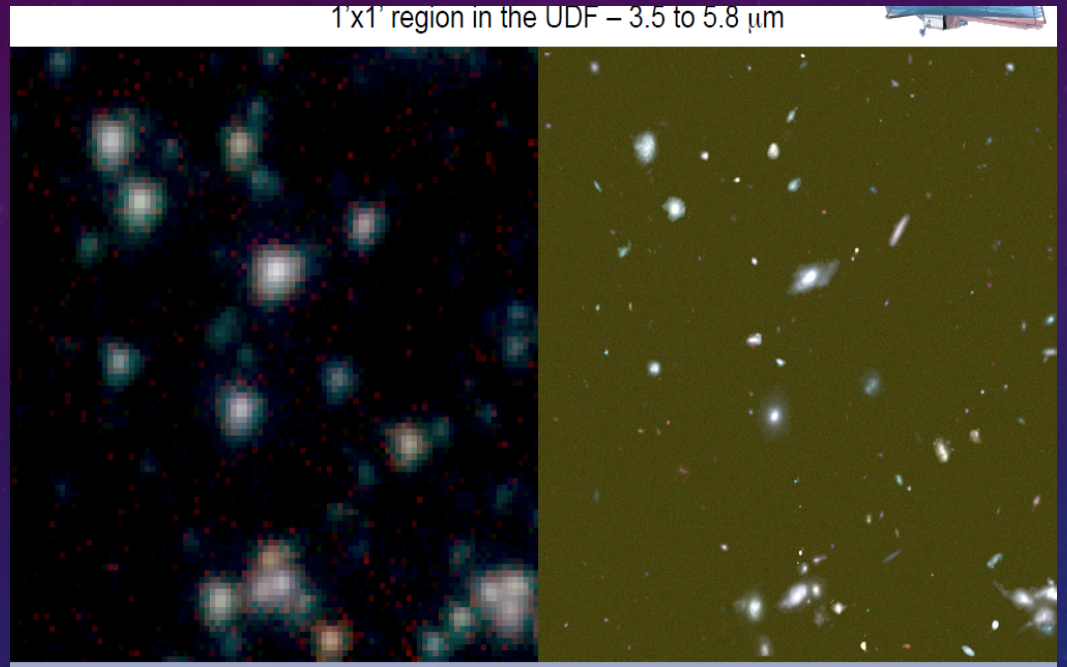
Source: Gardner et al. 2006



Source: NASA

La conception optique: les leçons de Hubble





Spitzer, 25 hour per band (GOODS collaboration)

JWST, 1000s per band (simulated)

Distant galaxies in deep space in the Hubble Ultra Deep Field photograph. Credit: NASA/ESA

A simulated image of James Webb Space Telescope performance. Credit: STScI

Source: NASA

Source : Ferruit ESA

Pièce de 1 euro: 2.3 cm

Les détails que JWST pourrait voir en plaçant la pièce à différentes distances

Distance = 500m

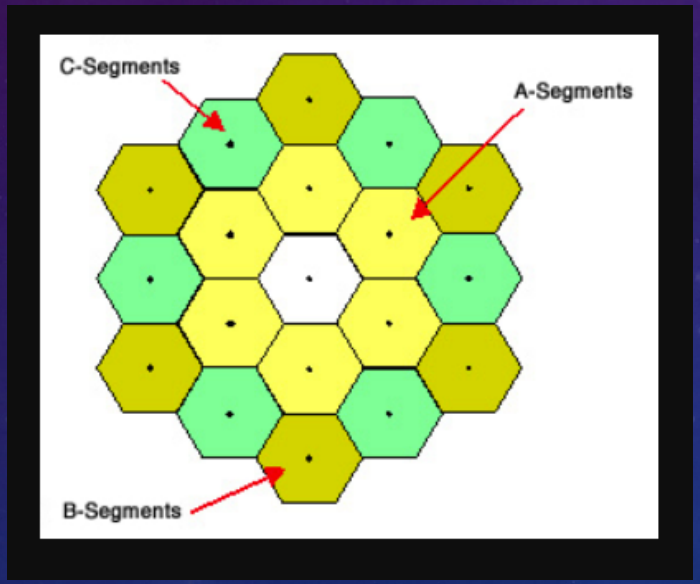
Distance = 5km!

Résolution spatiale de l'ordre de 60 à 70 mas dans l'infrarouge proche.

La conception optique: les leçons de Hubble

- Pourquoi des miroirs hexagonaux:

  - ➢ Espaces entre les miroirs minimaux
  - ➢ Plus simple à réaliser, seulement 3 types de miroirs différents



Source: NASA

  - ➢ Permet d'avoir un miroir « pliable »

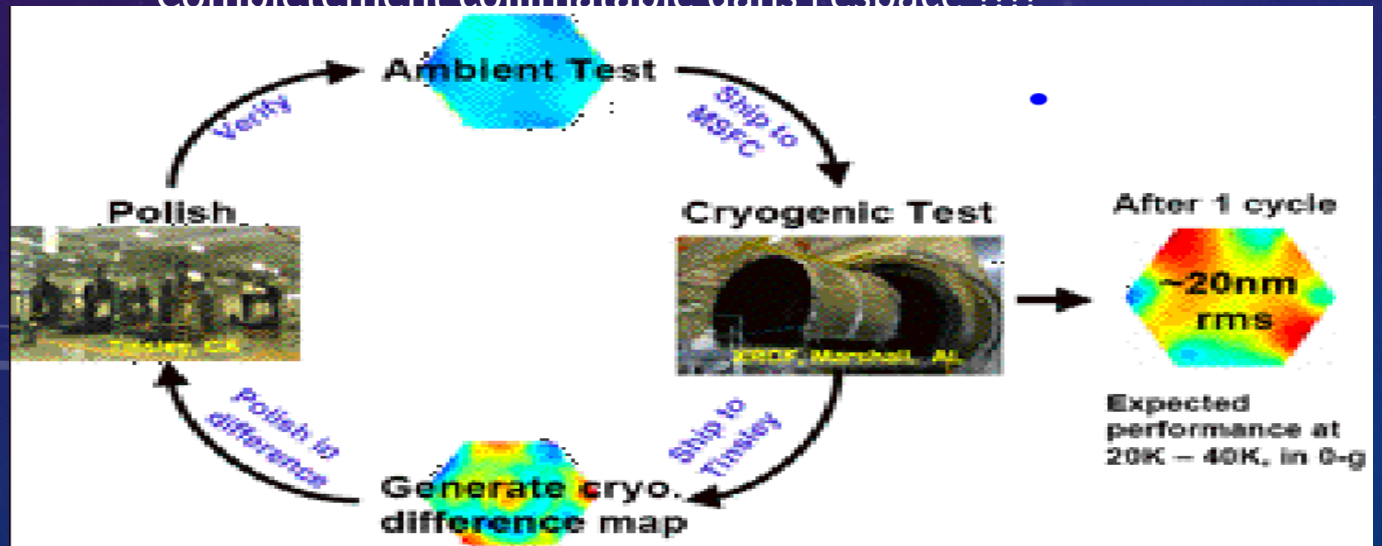
La conception optique: les leçons de Hubble

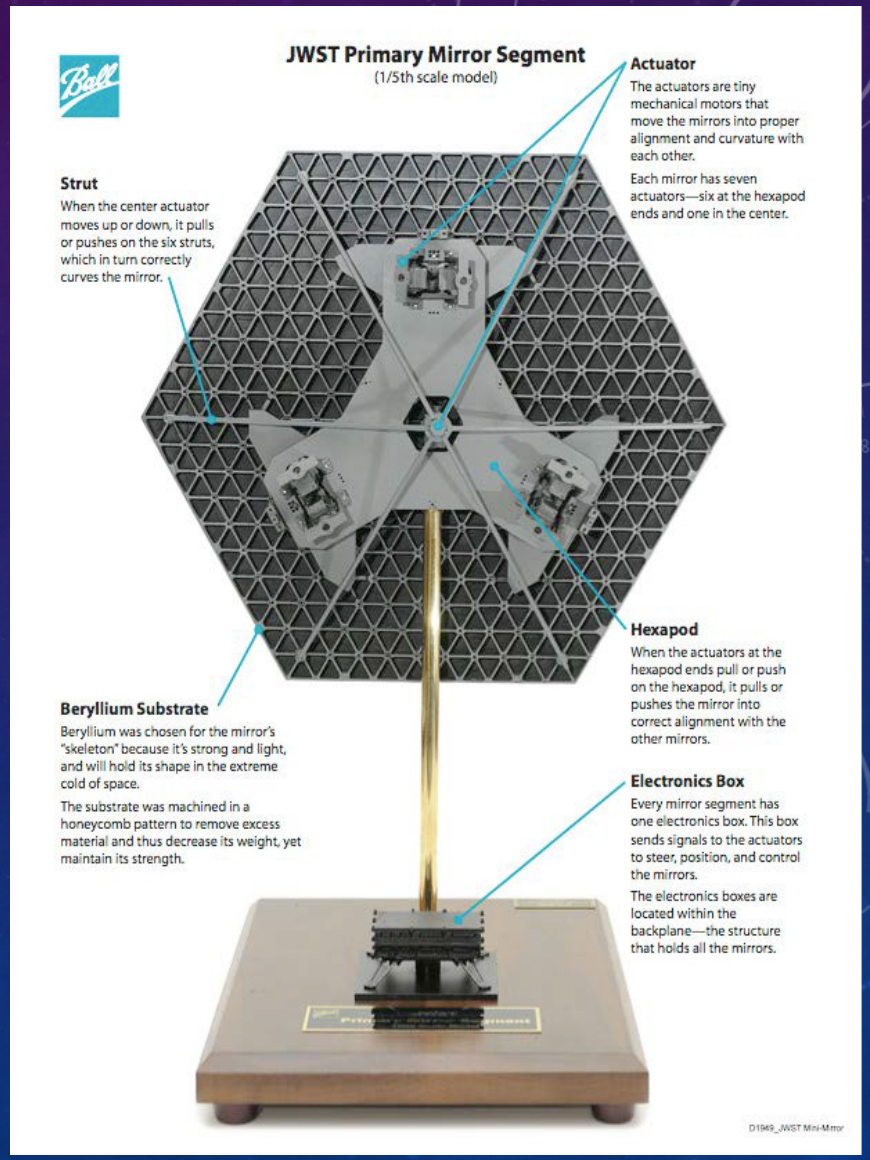
- Composition miroirs : Beryllium:

  - ➢ Poids (40k/segments, 705kg vs 828 kg pour Hubble)
  - ➢ Capacité à garder sa forme aux températures cryogéniques

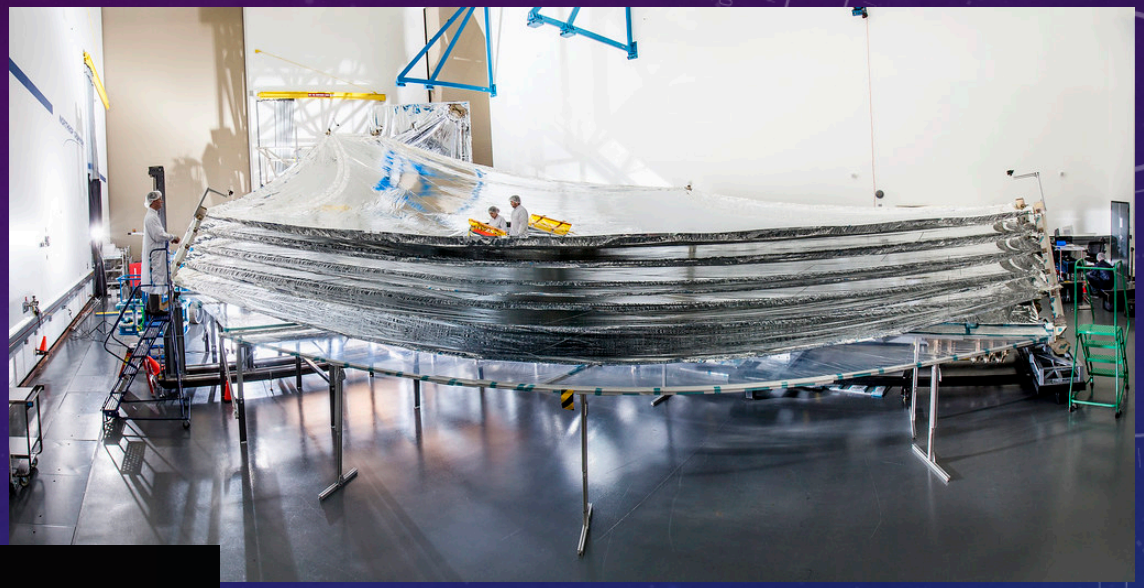
- Coating : or (meilleur réflectivité IR)
- Chaque miroir est équipé d'un système adaptatif à 6 actionneurs capables de bouger le miroir d' 1/10 000ème de l'épaisseur d'un cheveu et de faire varier la forme de celui-ci

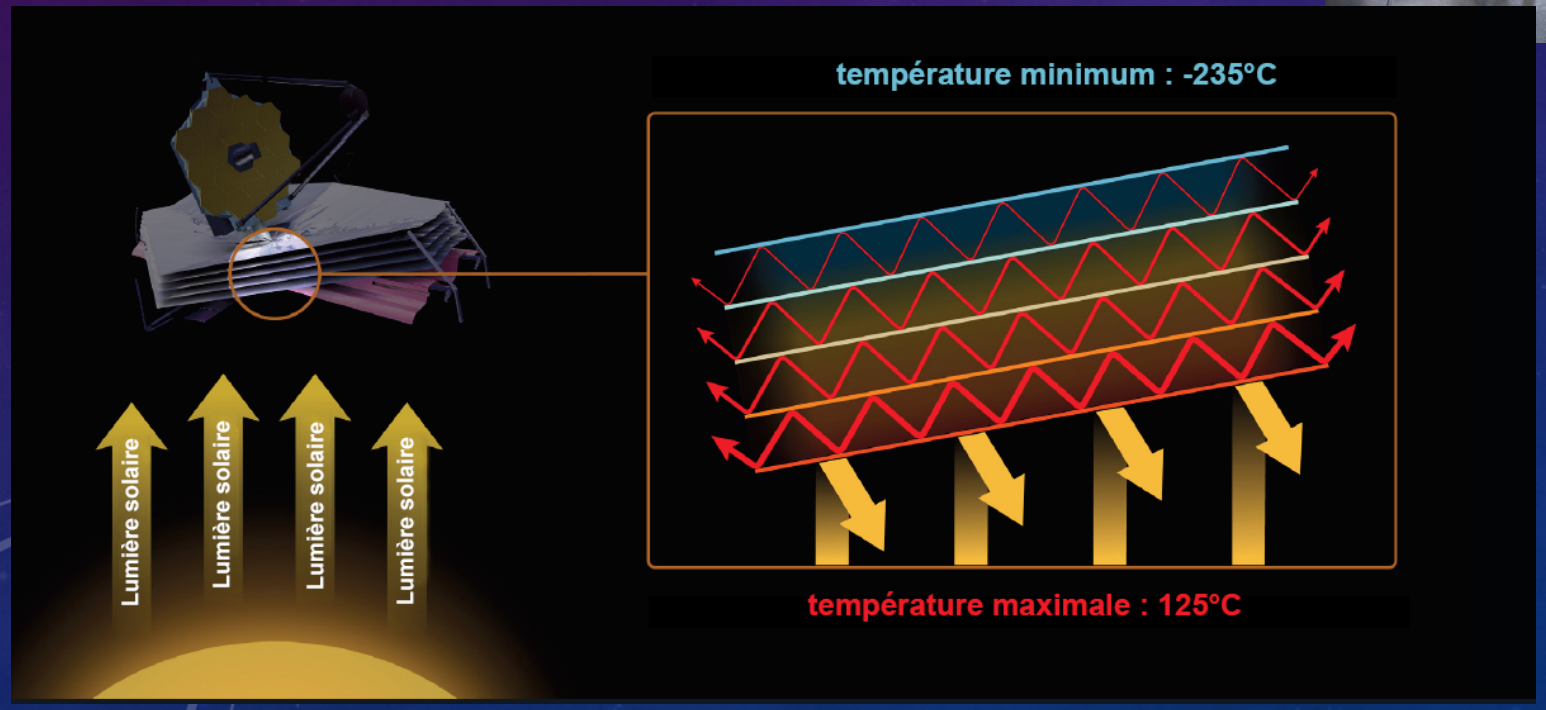
Complètement collimatable dans l'espace !!!!



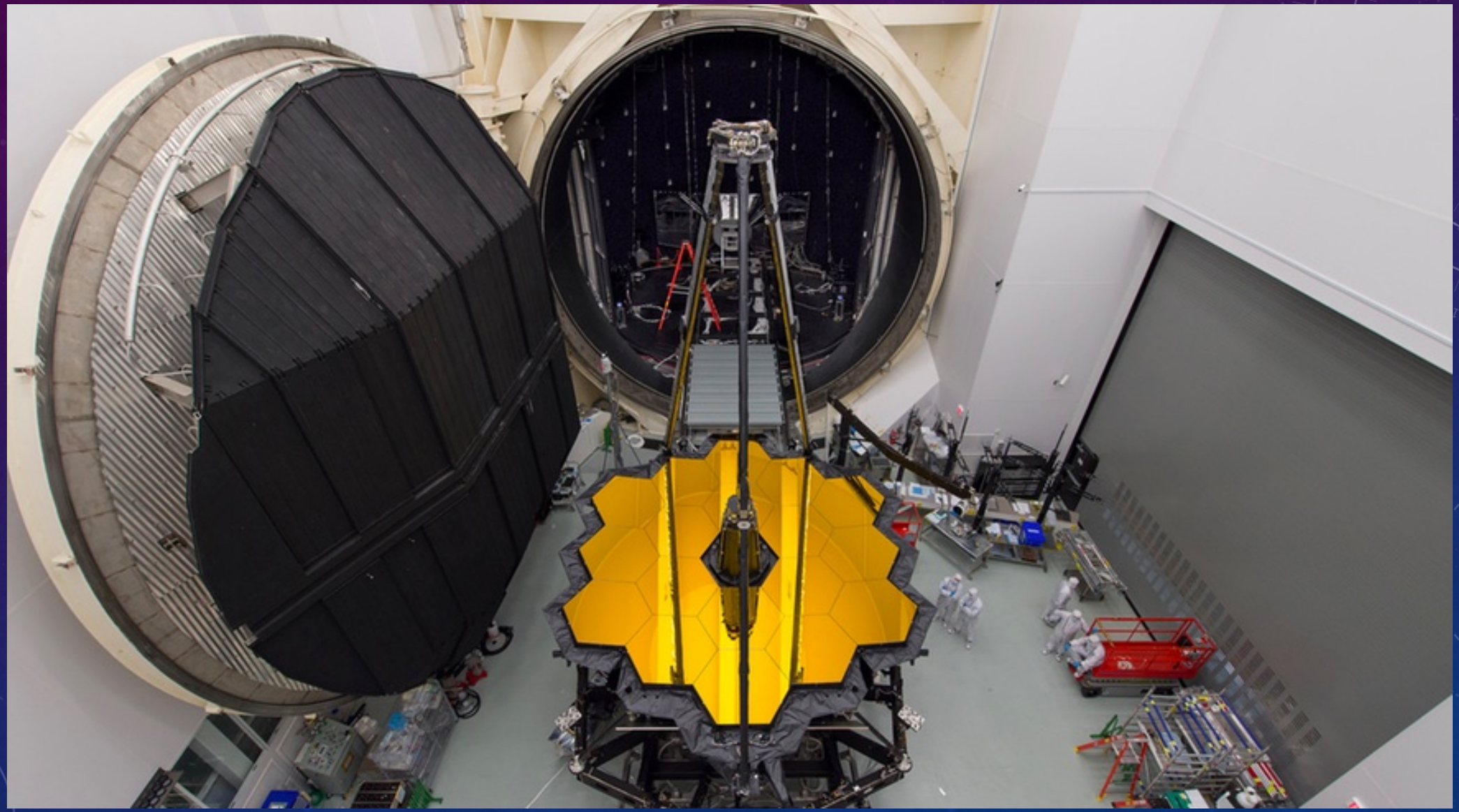


Le bouclier thermique

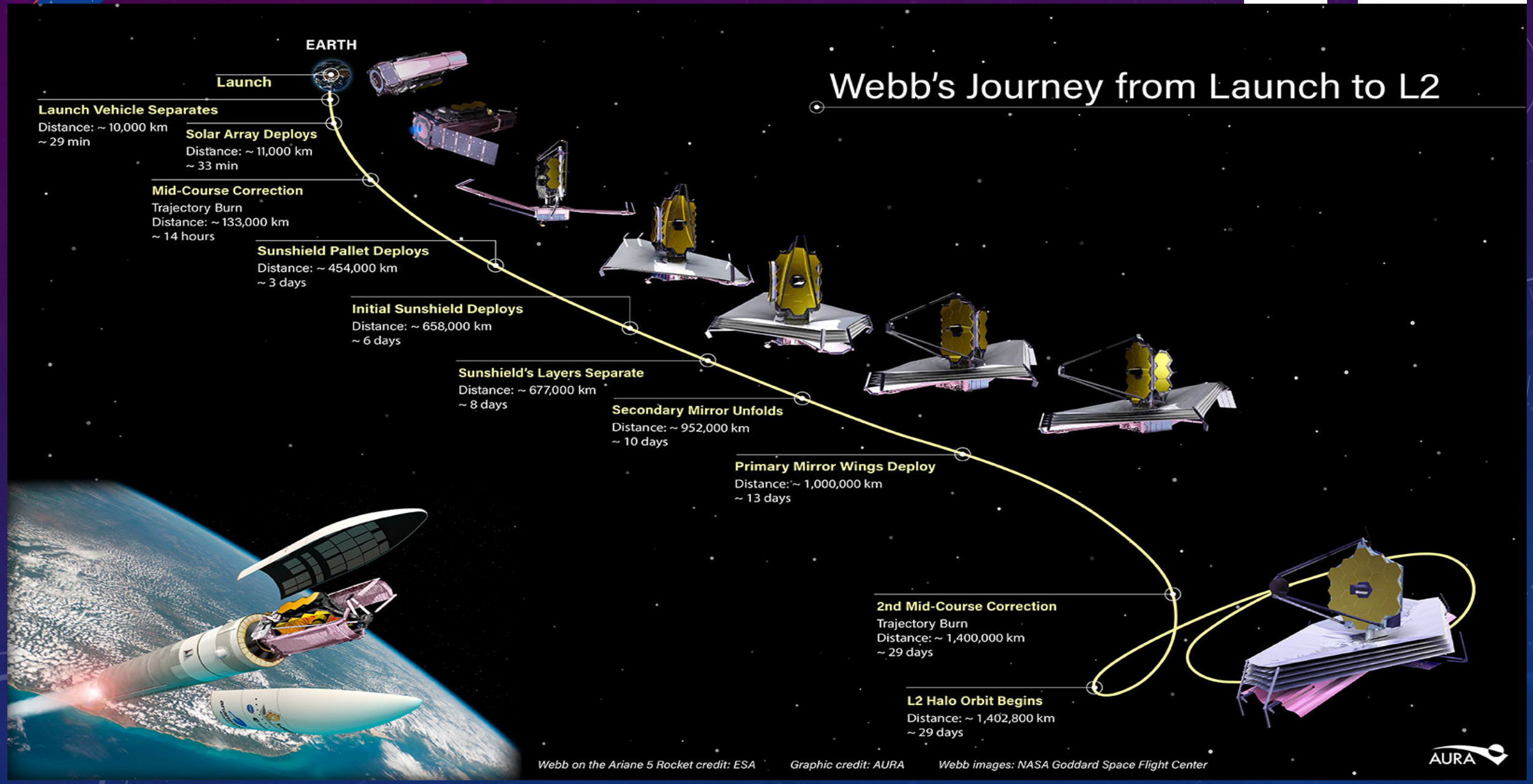




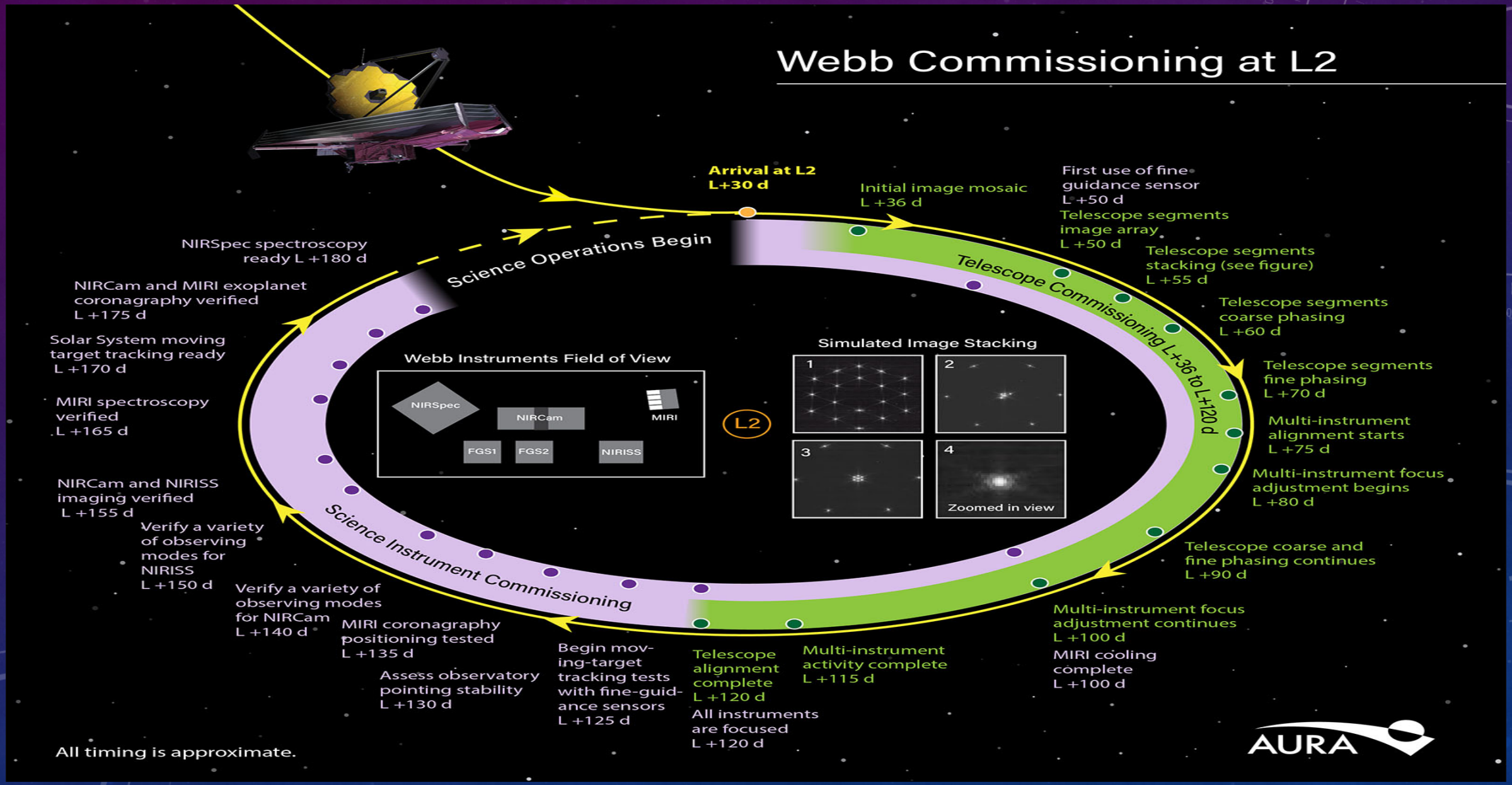
Les tests et essais avant lancement



Le lancement et le début de la mission



Le lancement et le début de la mission



3- les instruments installés

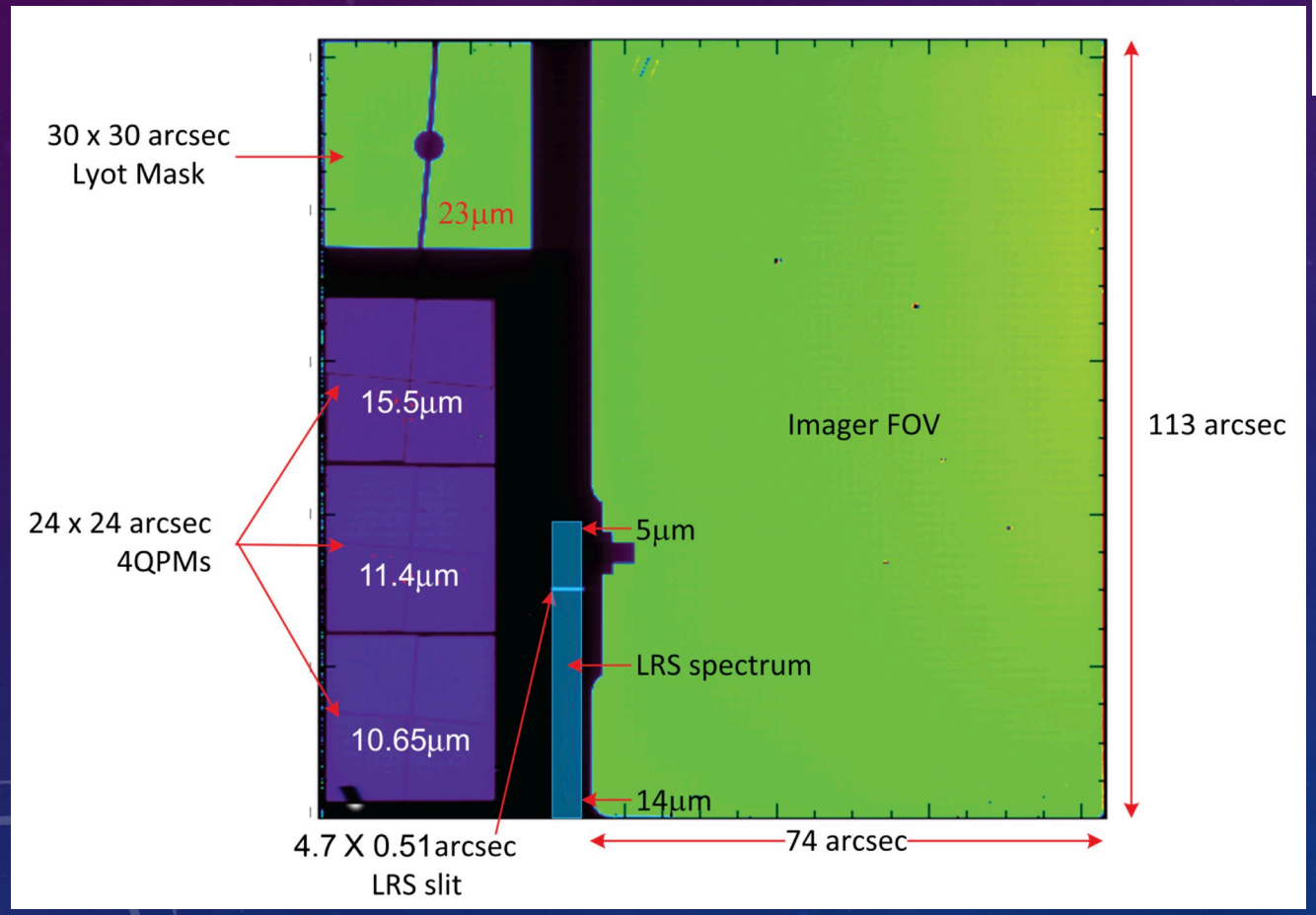
MIRI

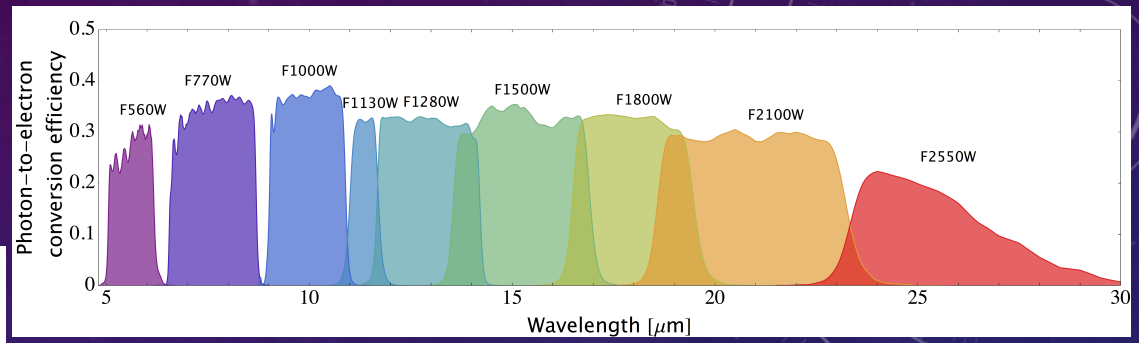
- MIRI : Mid InfraRed Imager
- Détecteur du JWST dans l'infrarouge Moyen (5-28 µons)

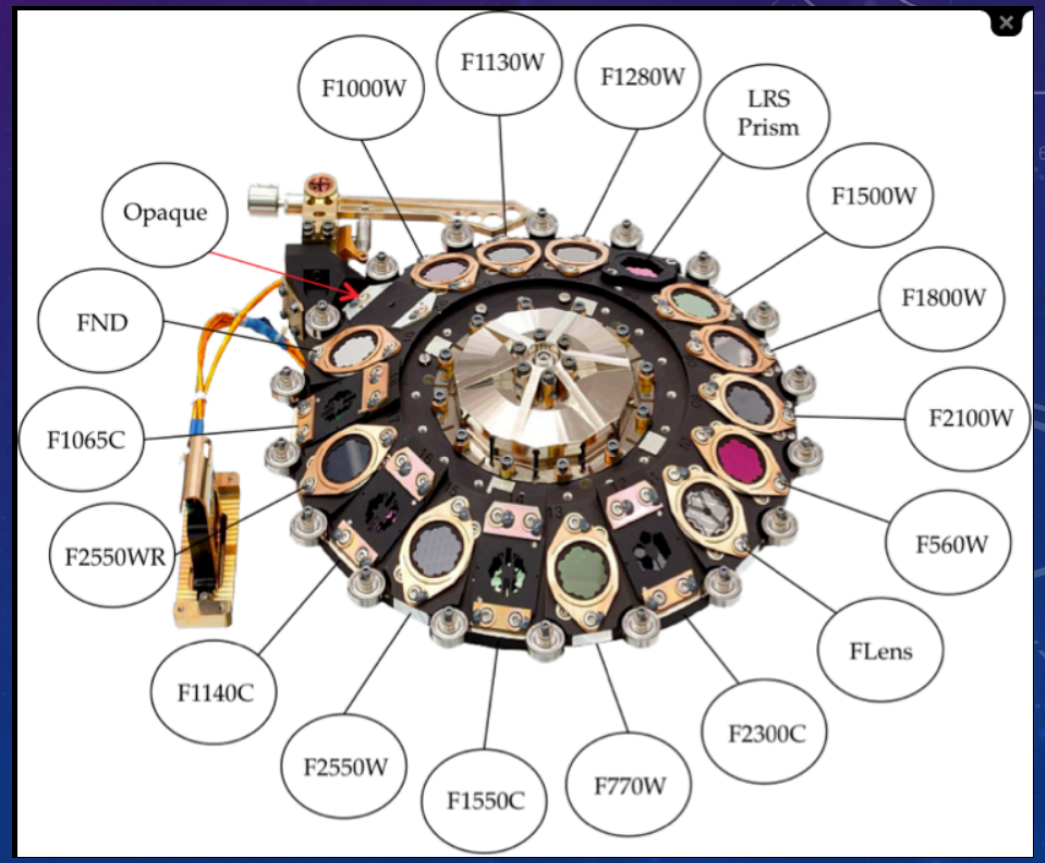
  Imageur, spectroscopie coronographie
- Seul appareil du JWST à disposer d’un système de refroidissement embarqué, il travaille à 7°K soit -266°C, du fait qu’il observe dans l’infrarouge Moyen
- 2 modes de spectroscopie
- 2 modes de coronographie

MIRI

IMAGERIE

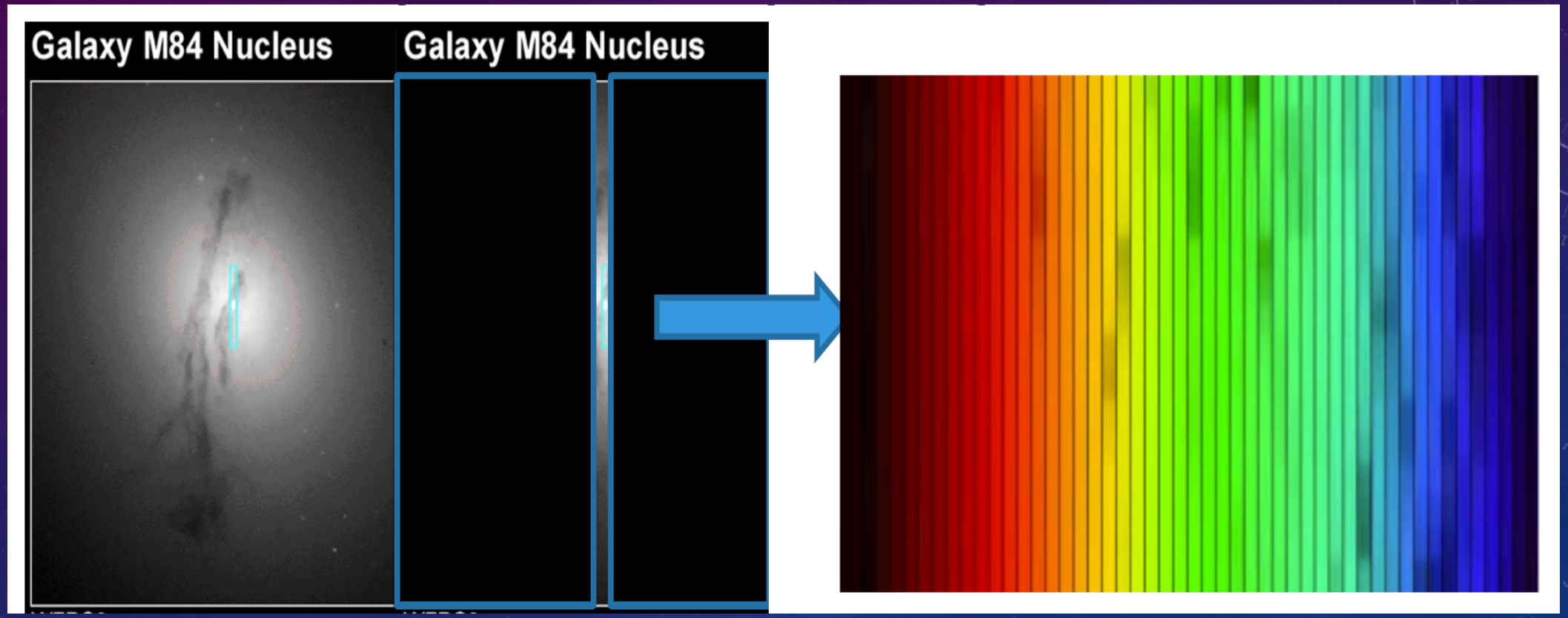






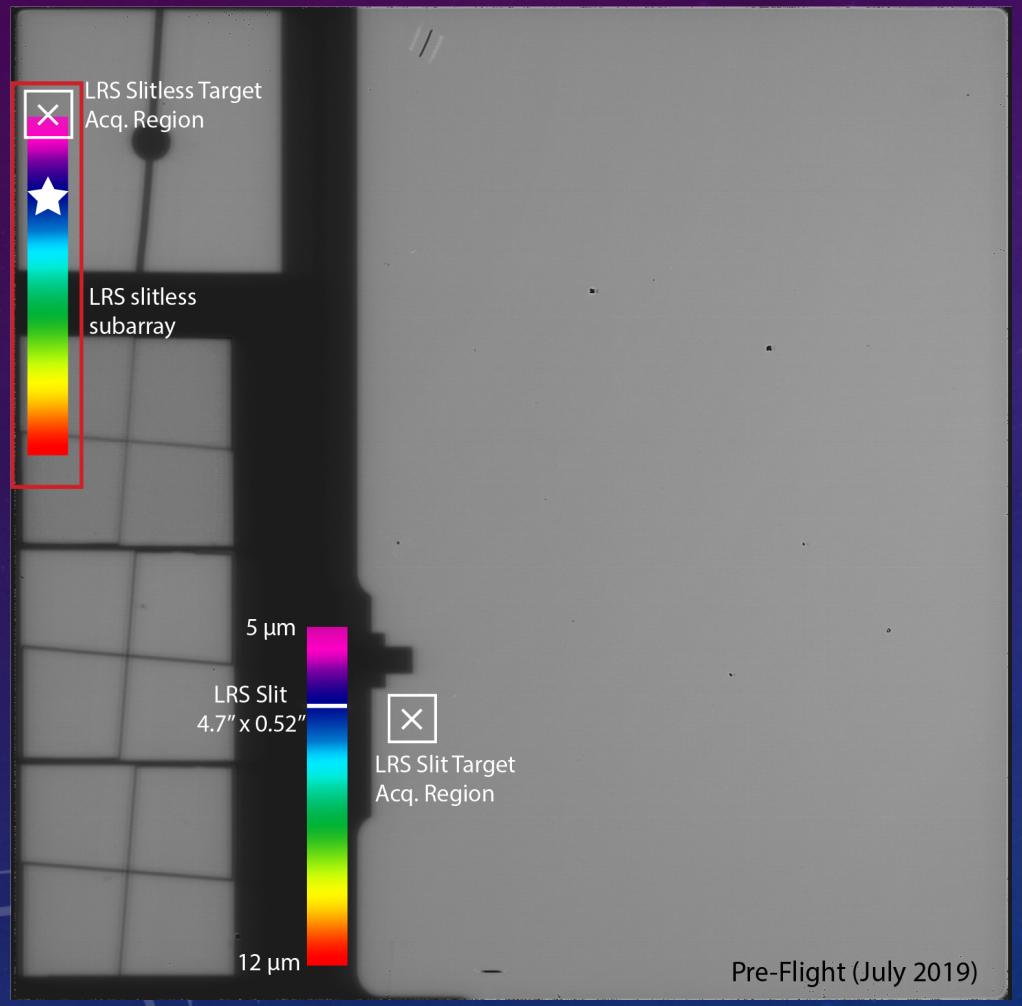
MIRI

➢ Spectroscopie à basse résolution à fente ou non :



MIRI

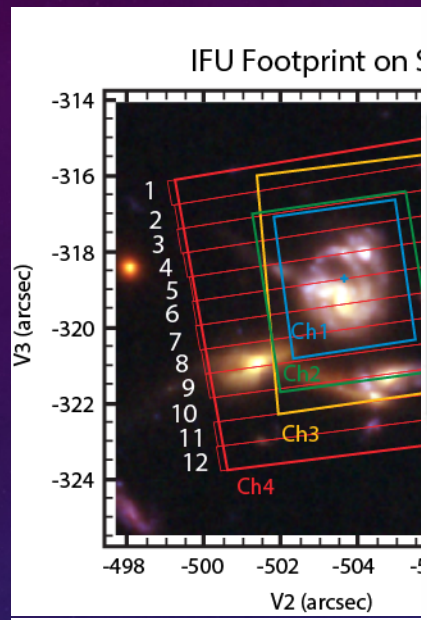
➢ Spectroscopie à basse résolution:

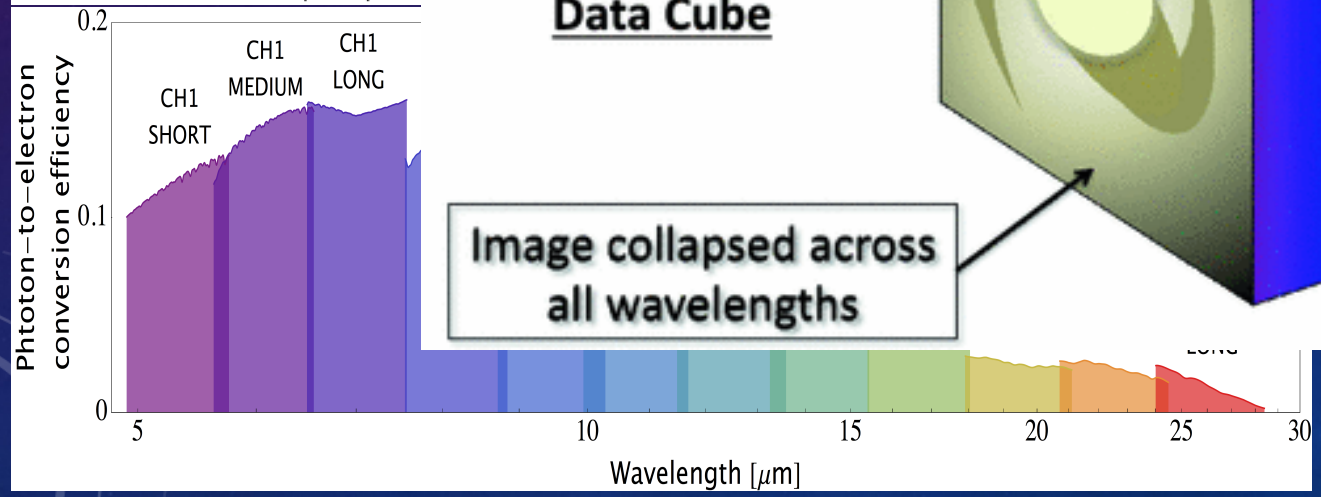


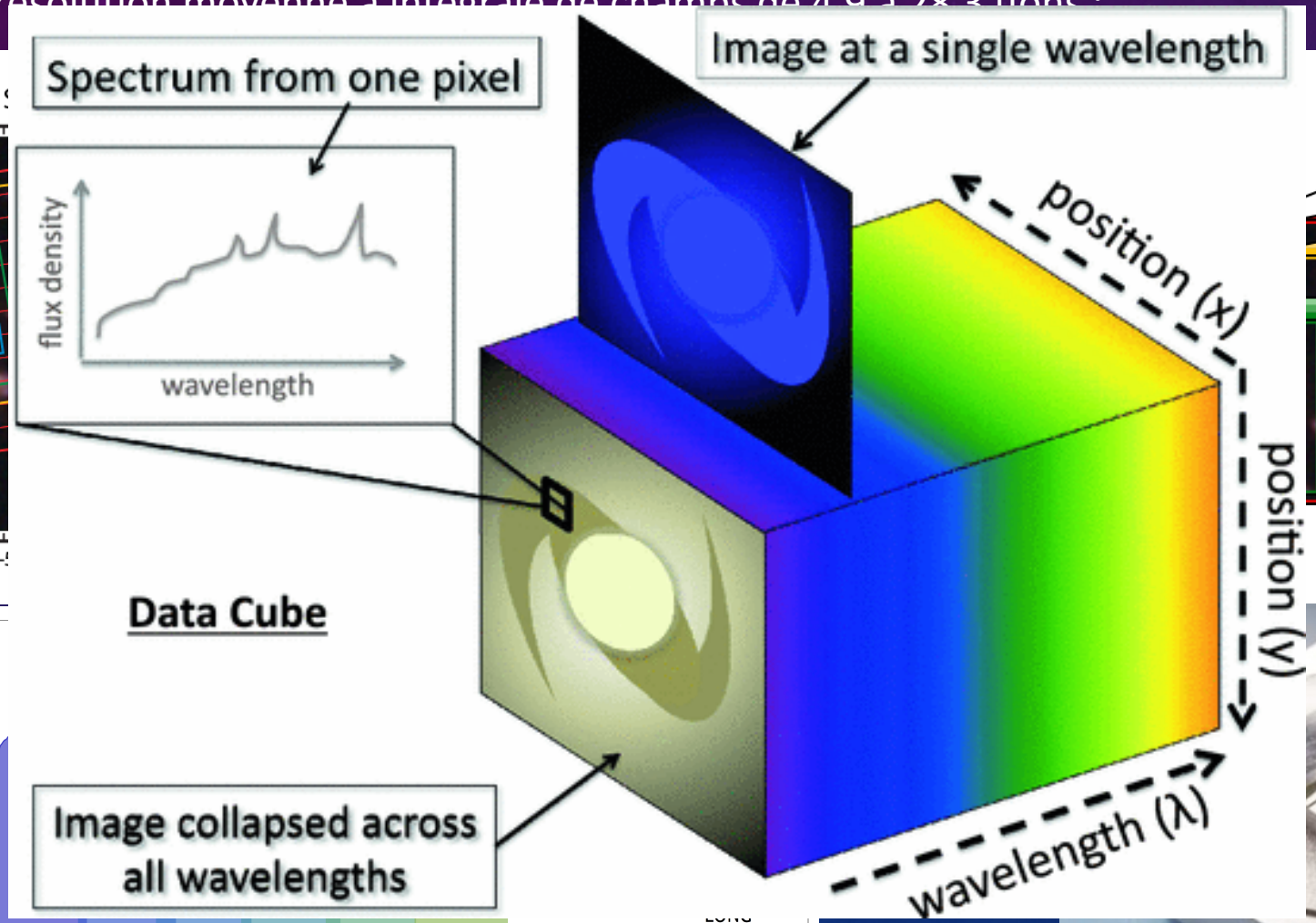
SLIT	SLITLESS
Not available for Time Series Observations	Time Series Observation setting mandatory
FULL array	SLITLESSPRISM subarray
Better sensitivity, fainter saturation limit	Worse sensitivity, brighter saturation limit
Exposures limited to 10,000 s	Allows > 10,000 s exposures
Dithering possible	No dithering allowed
No spectral foldover below ~4.5 µm	Affected by spectral foldover < 4.5 µm
Sensitive to pointing uncertainty, drift	No slit losses
Time Series Observation special requirement not permitted	Time Series Observation special requirement mandat

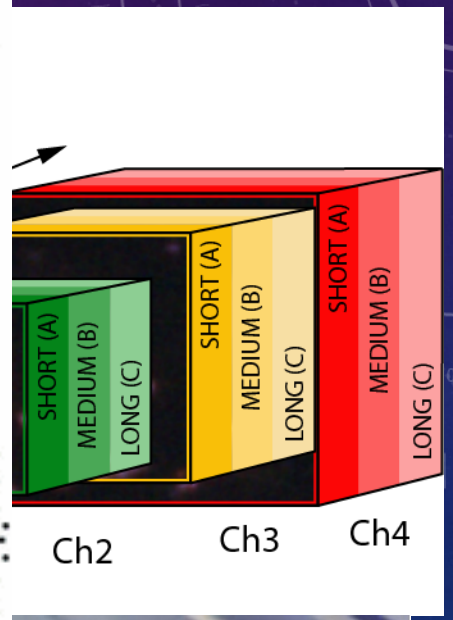
MIRI

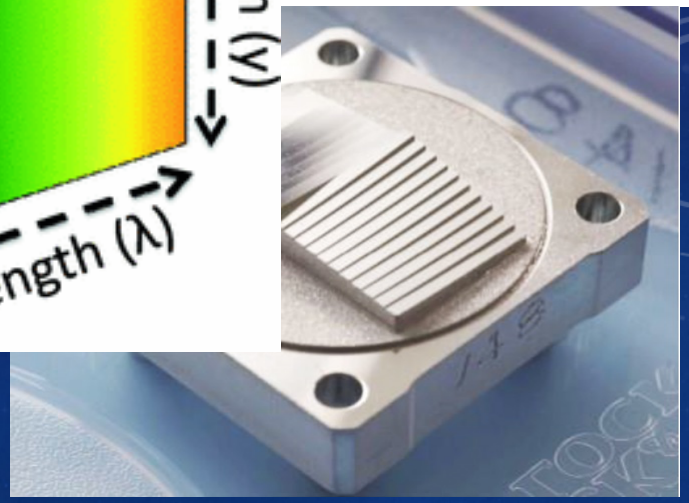
➢ Spectroscopie à résolution moyenne à intégrale de champs de 4.9 à 28.3 µons :





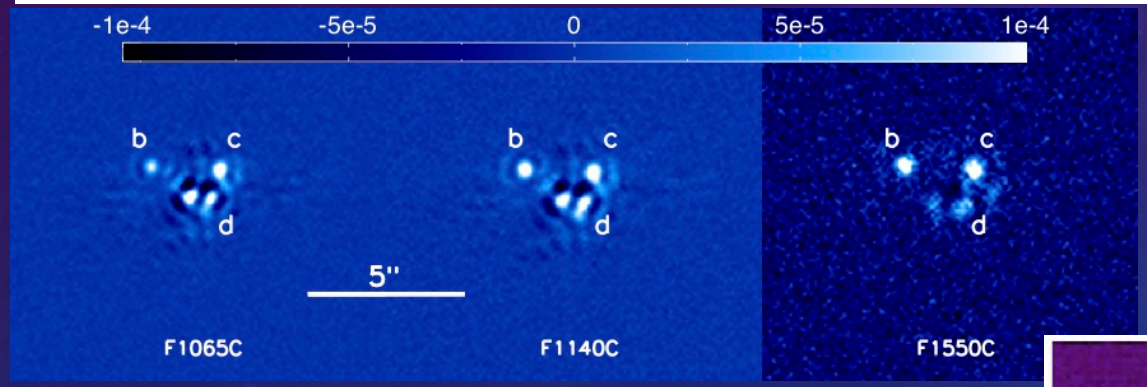


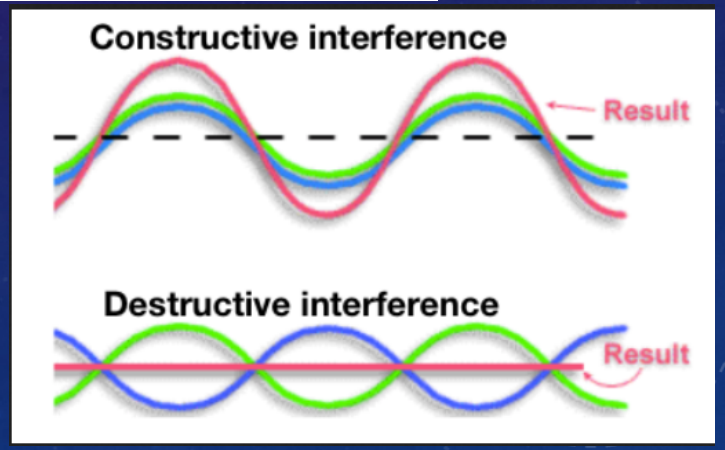


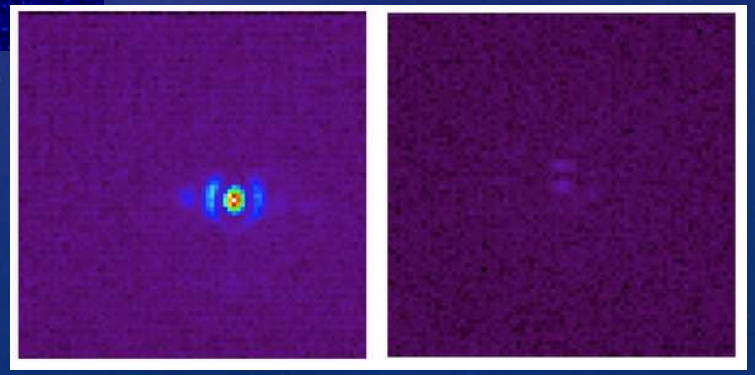


MIRI

➢ Coronographes:



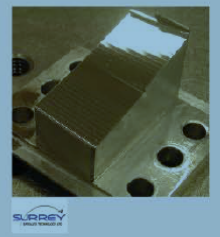




Simulation du système HR8789
Bocattelli et al 2015

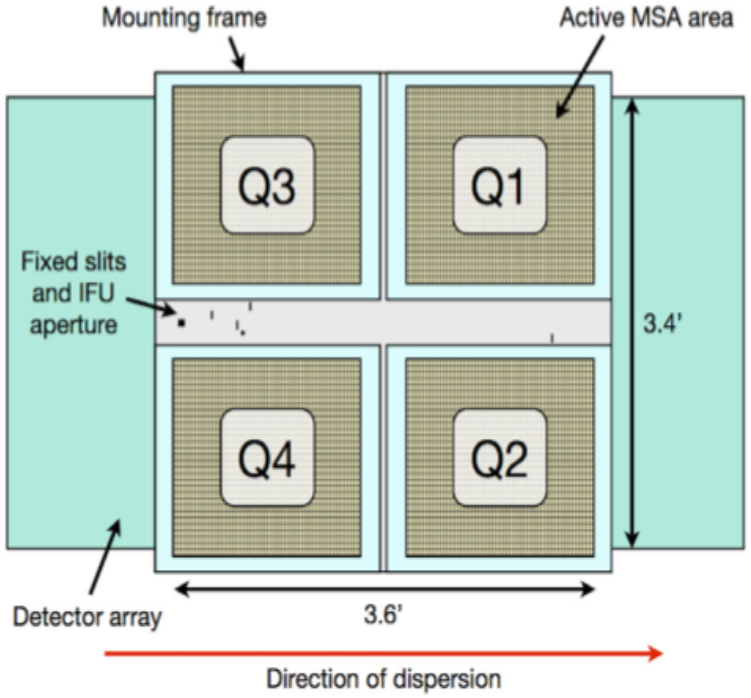
NIRSPEC

- Instrument 100% Européen sous l'égide de l'ESA
- NIRSPEC : Near InfraRed SPECtroscope : Instrument dédié à la Spectroscopie

JWST/NIRSpec			
MOS		**Multi-object spectroscopy with 0.2"-wide mini-slits.**	- 9 square arcmin. field of view - Low spectral resolution (30 to 300), prism-based mode covering the 0.6-5.0 micron range in one exposure. - Medium spectral resolution (500 to 1300), grating-based mode covering the 0.7-5.0 range
IFU		**IFU spectroscopy with a 0.1" sampling.** (IFU made of 30 slices for a total of 900 "spaxels")	- 3"x3" field of view - Low spectral resolution (30 to 300), prism-based mode covering the 0.6-5.0 micron range in one exposure. - Medium (500 to 1300) and high (1400-3600) spectral resolution modes, covering the 0.7-5.0 range in 4 exposures. - IFU and MOS cannot be used at the same time.
SLIT		**High-contrast slit spectroscopy.** (including with a 1.6"x1.6" square aperture for extra-solar planet transit observation)	- 5 slits available All spectral resolution modes available. - SLIT can be used simultaneously to IFU or MOS.

European Space Agency

Field of View

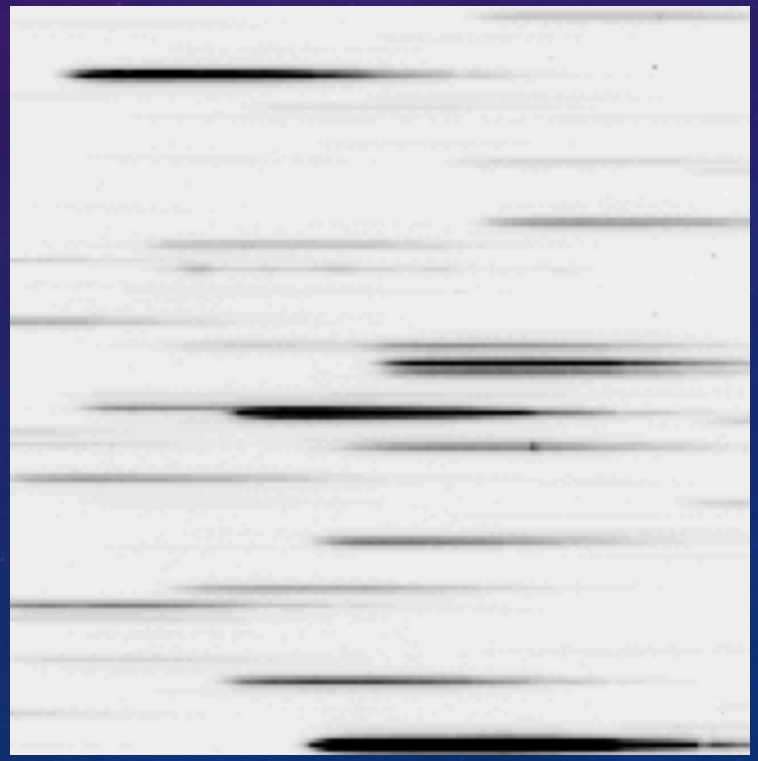


The NIRSpec focal plane and apertures. The Micro-shutter Assembly (MSA) has four quadrants of micro-shutters to create the slits for NIRSpec MOS.

NIRSPEC

➢ MOS: Spectroscopie Multi-Objet:

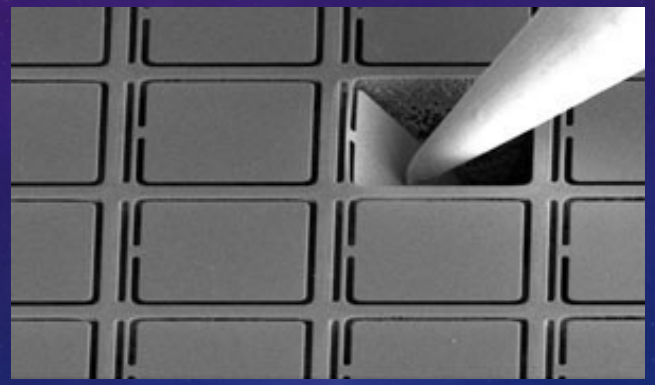
Lorsque l’on essaie de réaliser le spectre de plusieurs sources sur une image, le spectre va s’étaler sur le détecteur entrainant un risque de confusion, voir même un chevauchement des spectres



NIRSPEC

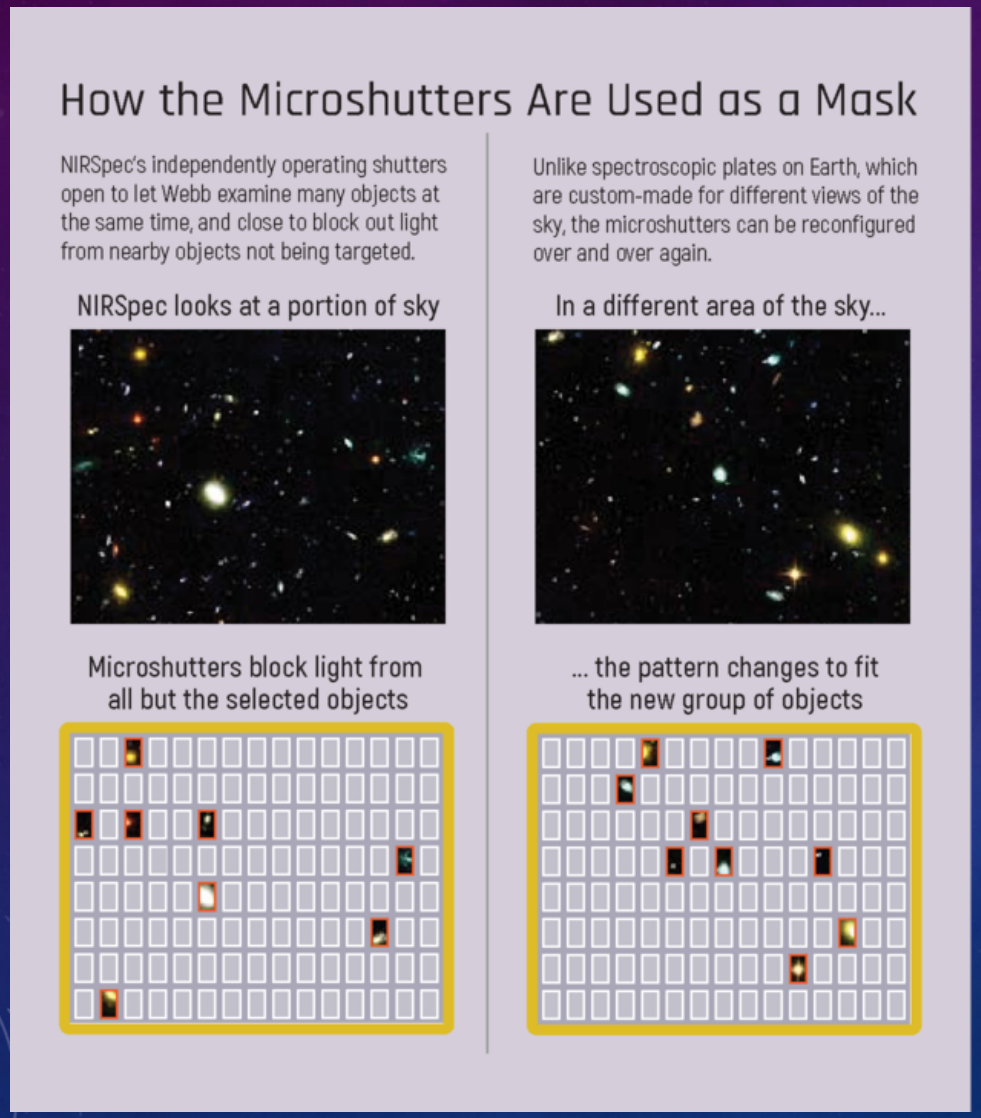
➢ MOS: Spectroscopie Multi-Objet:

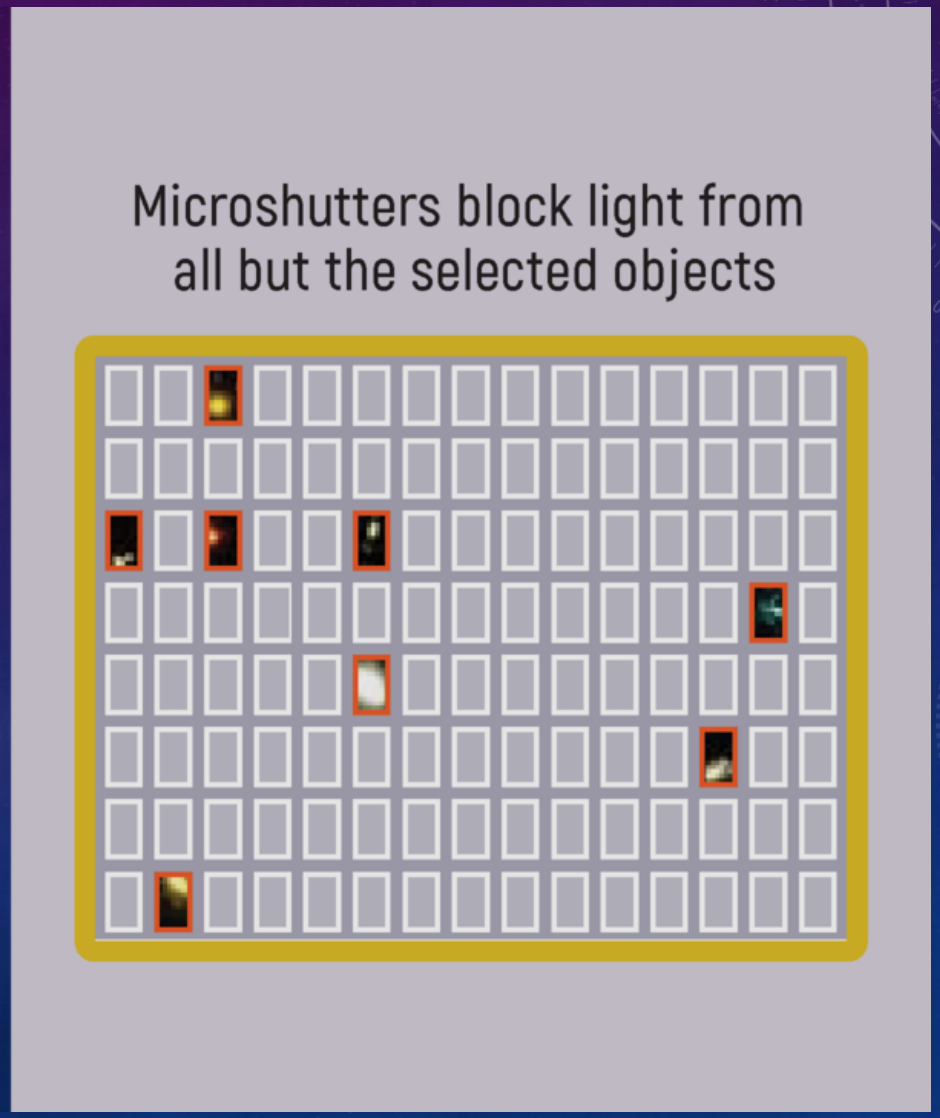
Solution un système de micro-obturateurs de l’épaisseur d’un cheveu



NIRSPEC

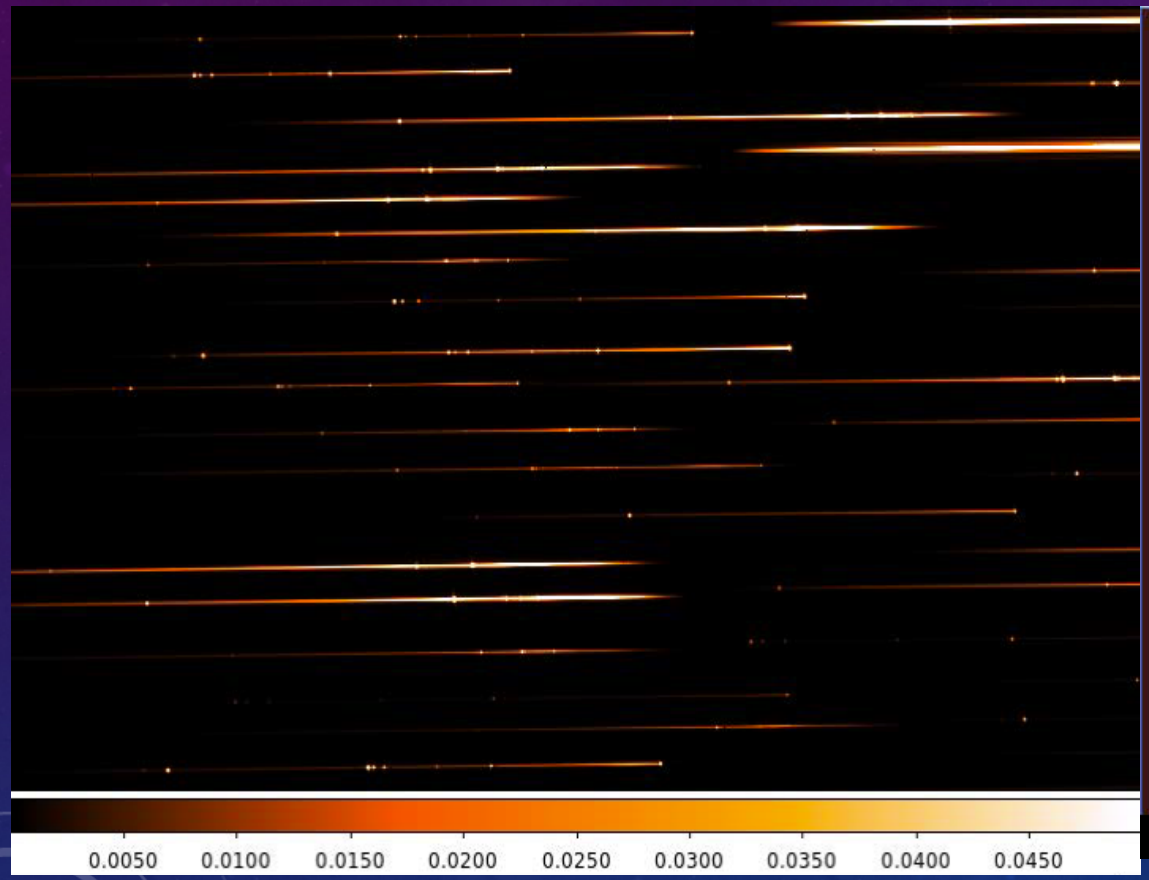
➢ MOS: Spectroscopie Multi-Objet:

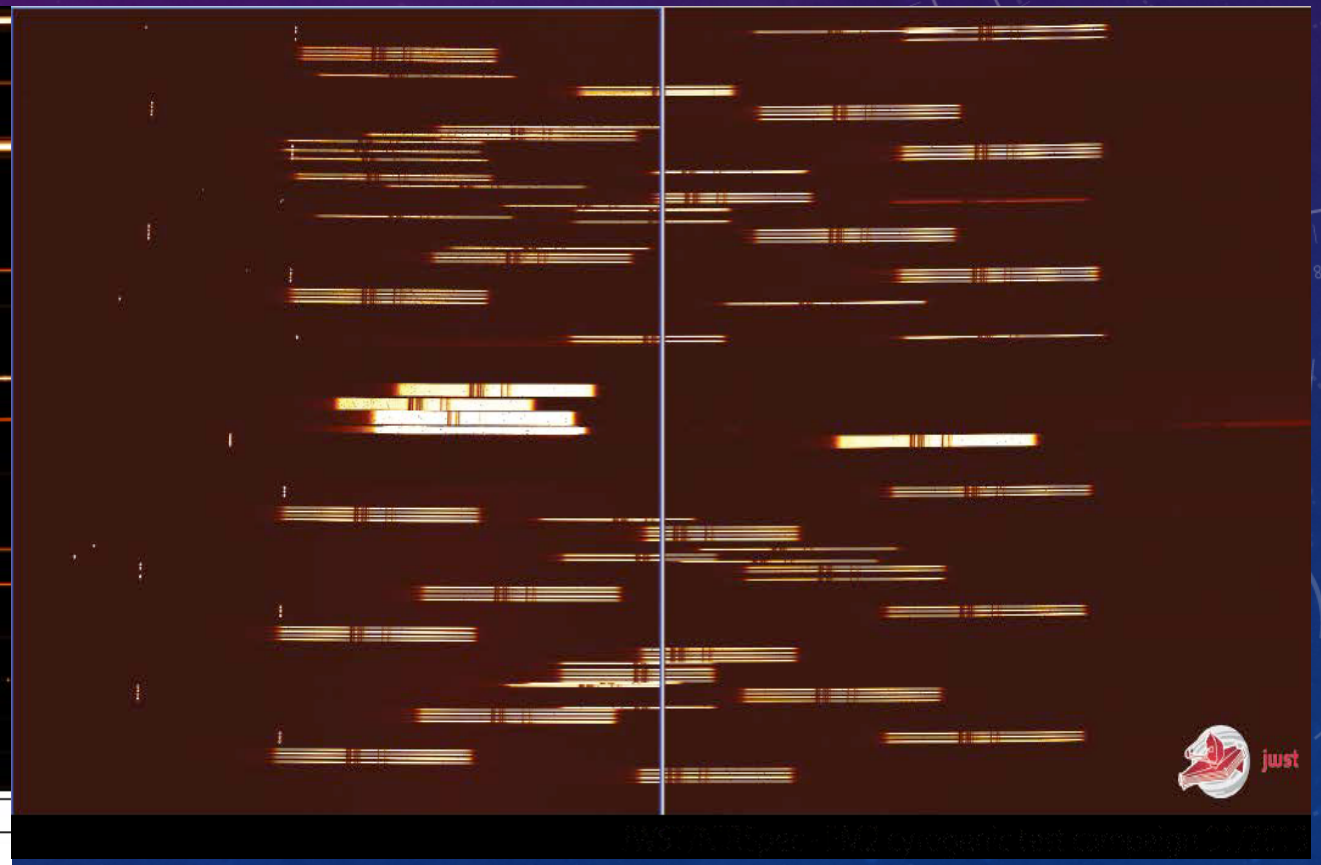




NIRSPEC

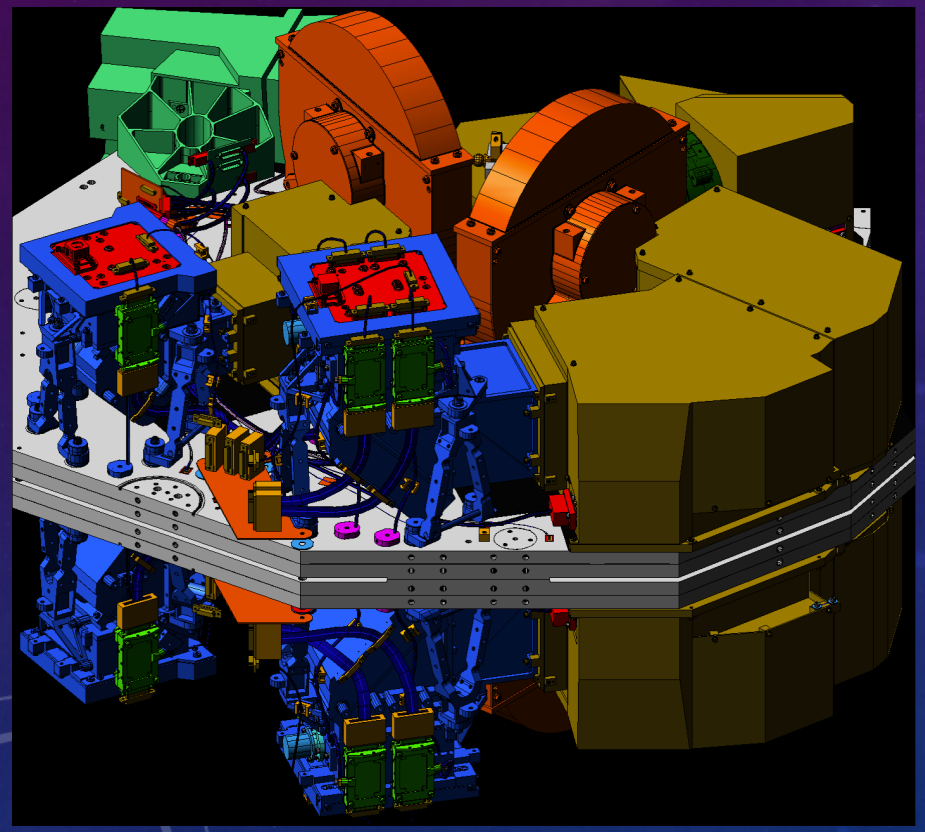
➢ MOS: Spectroscopie Multi-Objet:

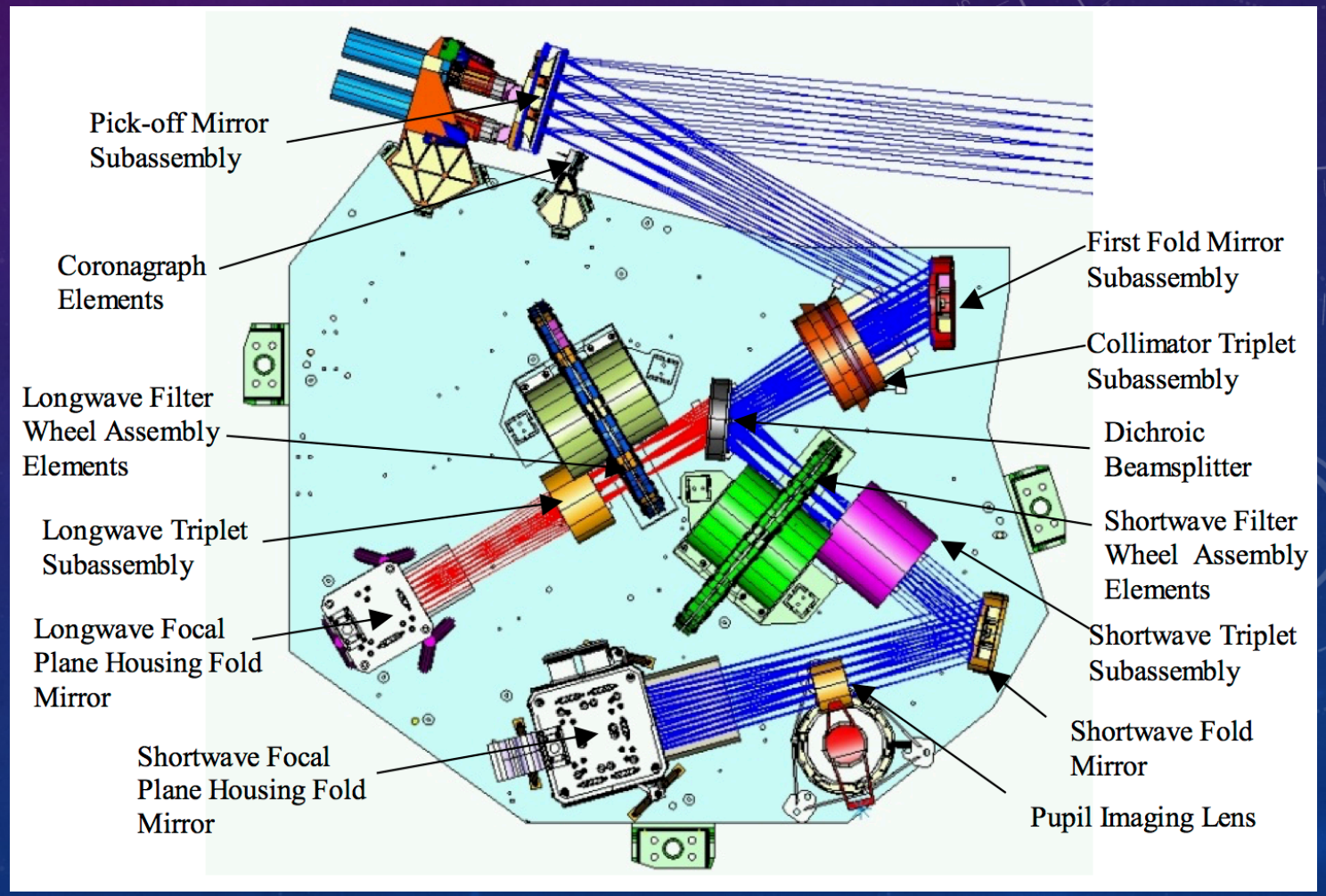




NIRCAM

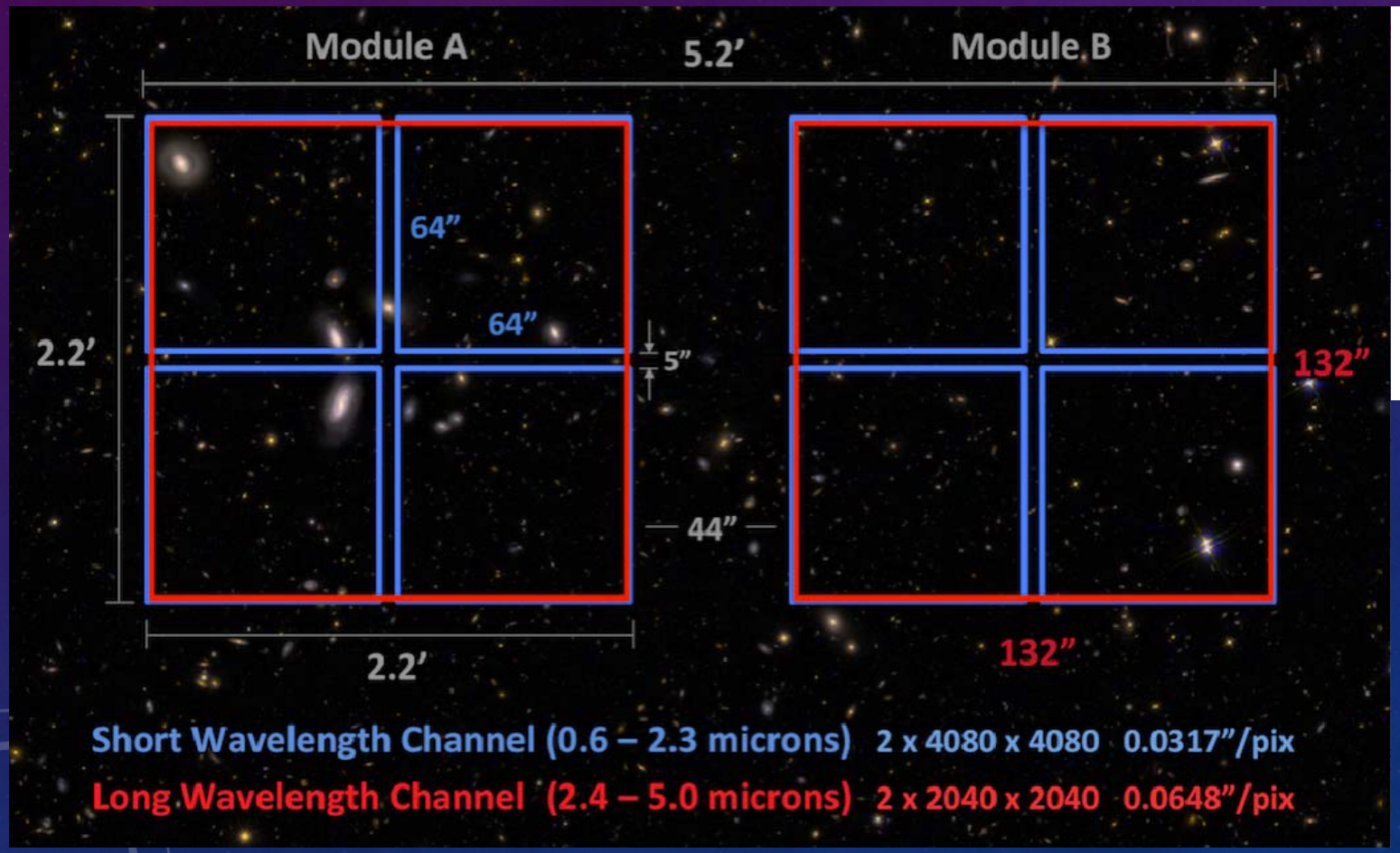
- Nircam : Near InfraRed CAMera : Imageur proche infrarouge du JWST (0.6 -5 microns)
- Instrument indispensable servant à la collimation du télescope, 2 modules redondants

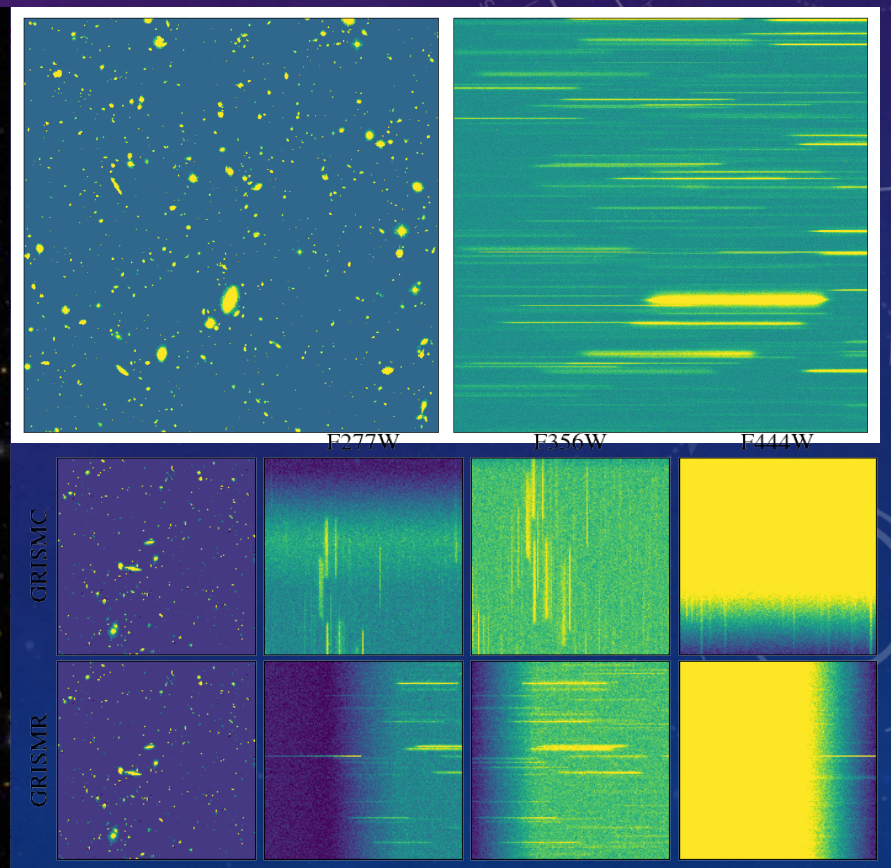




NIRCAM

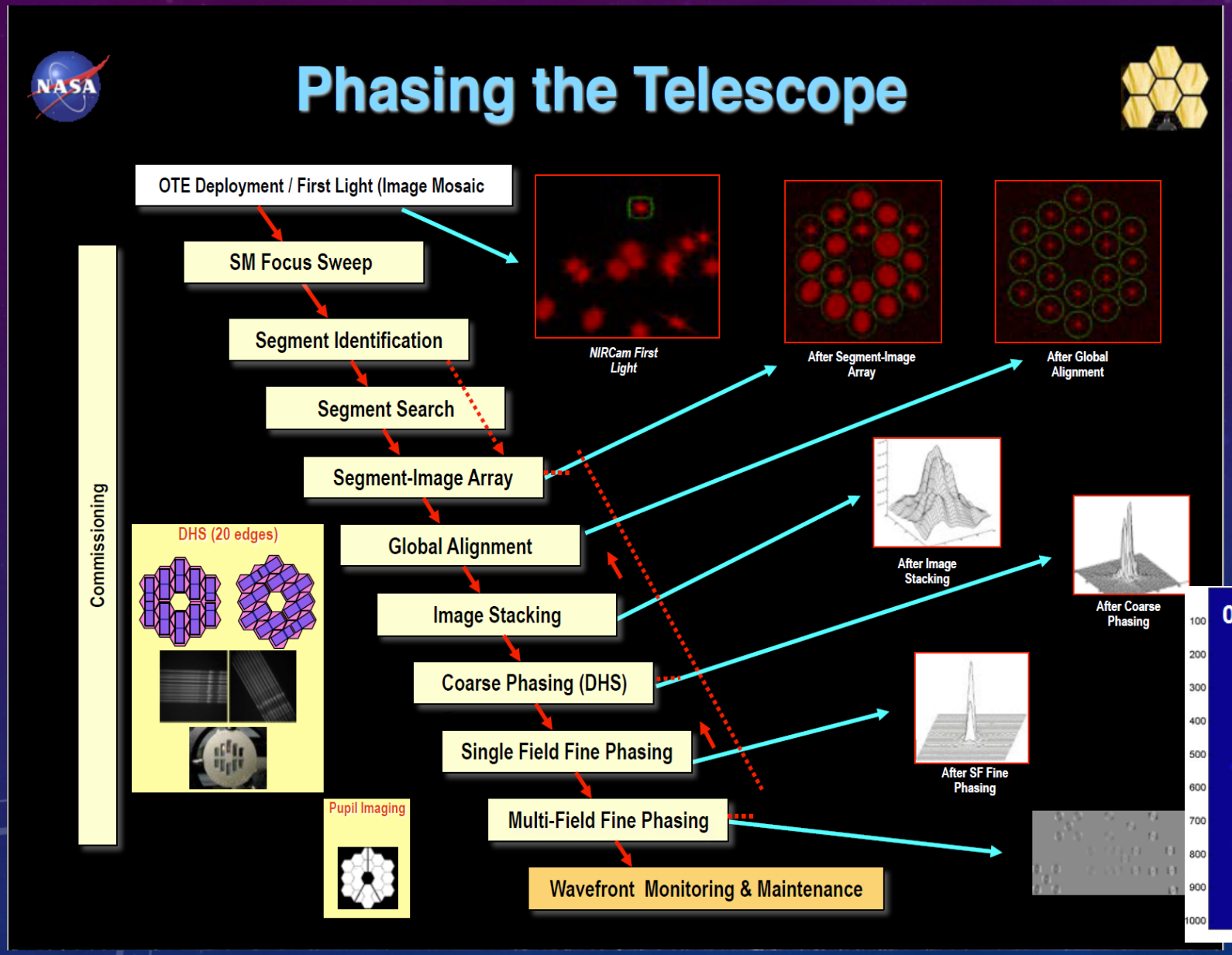
- Nircam: Near InfraRed CAMera : Imageur proche infrarouge du JWST (0.6 -5 microns)
- Instrument indispensable servant à la collimation du télescope, 2 modules redondants

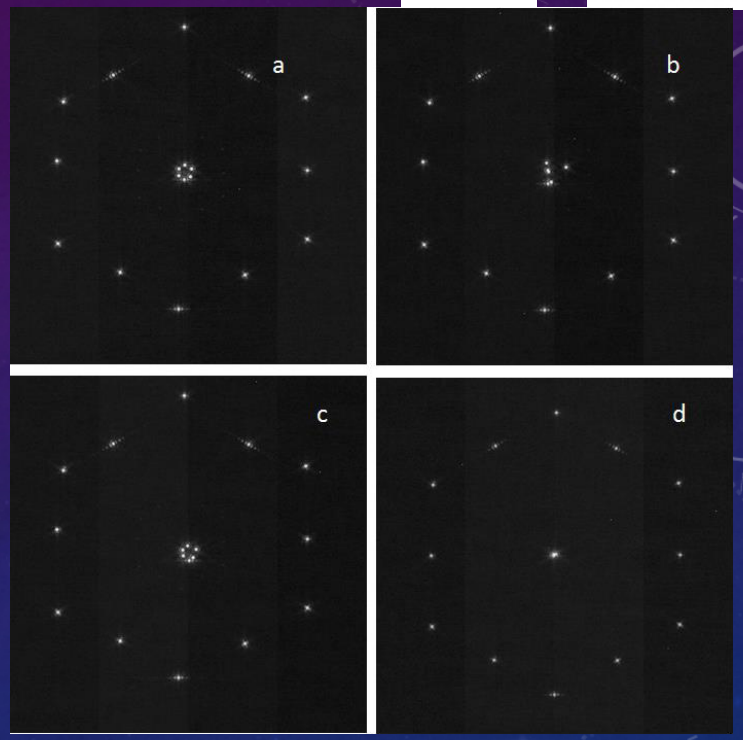


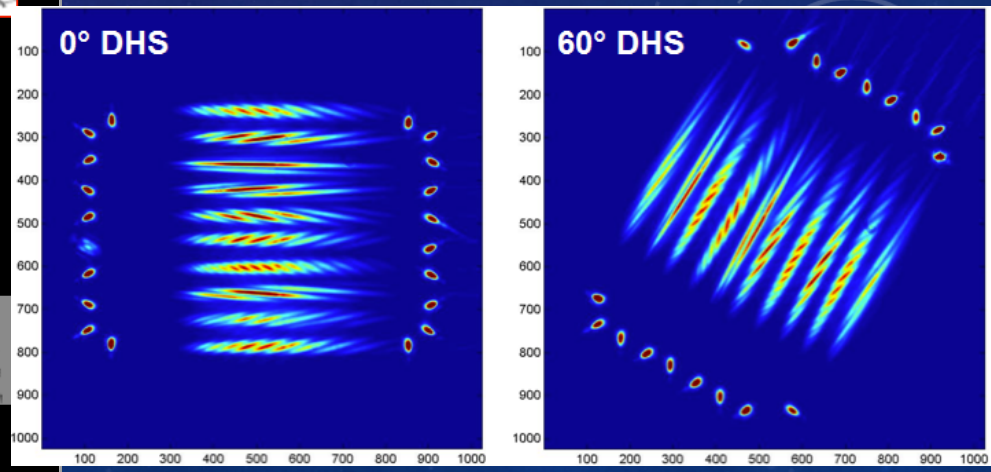


Source: NASA

NIRCAM


Phasing the Telescope
OTE Deployment / First Light (Image Mosaic
SM Focus Sweep
Segment Identification
Segment Search
Segment-Image Array
Global Alignment
Image Stacking
Coarse Phasing (DHS)
Single Field Fine Phasing
Multi-Field Fine Phasing
Wavefront Monitoring & Maintenance
Commissioning
DHS (20 edges)
Pupil Imaging
NIRCam First Light
After Segment-Image Array
After Global Alignment
After Image Stacking
After Coarse Phasing
After SF Fine Phasing


a
b
c
d


0° DHS
60° DHS
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000

NIRISS/FGS

➢ NIRISS : Near InfraRed Imager and Slitless Spectroscopy : Imageur en proche infrarouge 0,7 à 5µons

- Imagerie
- Imagerie à haut contraste
- Spectrographie sans fente

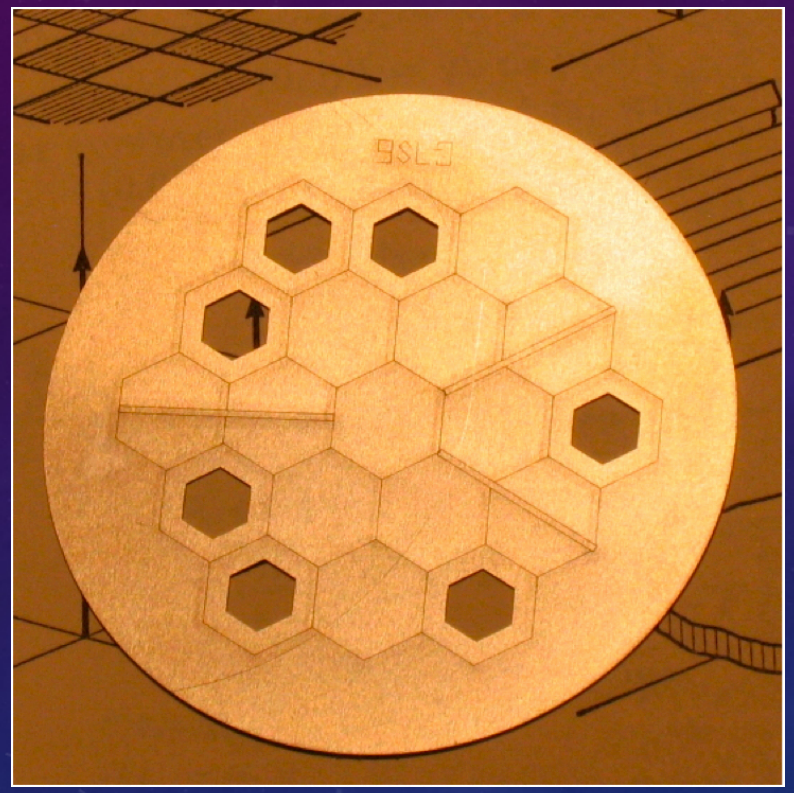
Instrument pour la détection et l'étude des exoplanètes
Etudes des éléments à hauts Redshifts

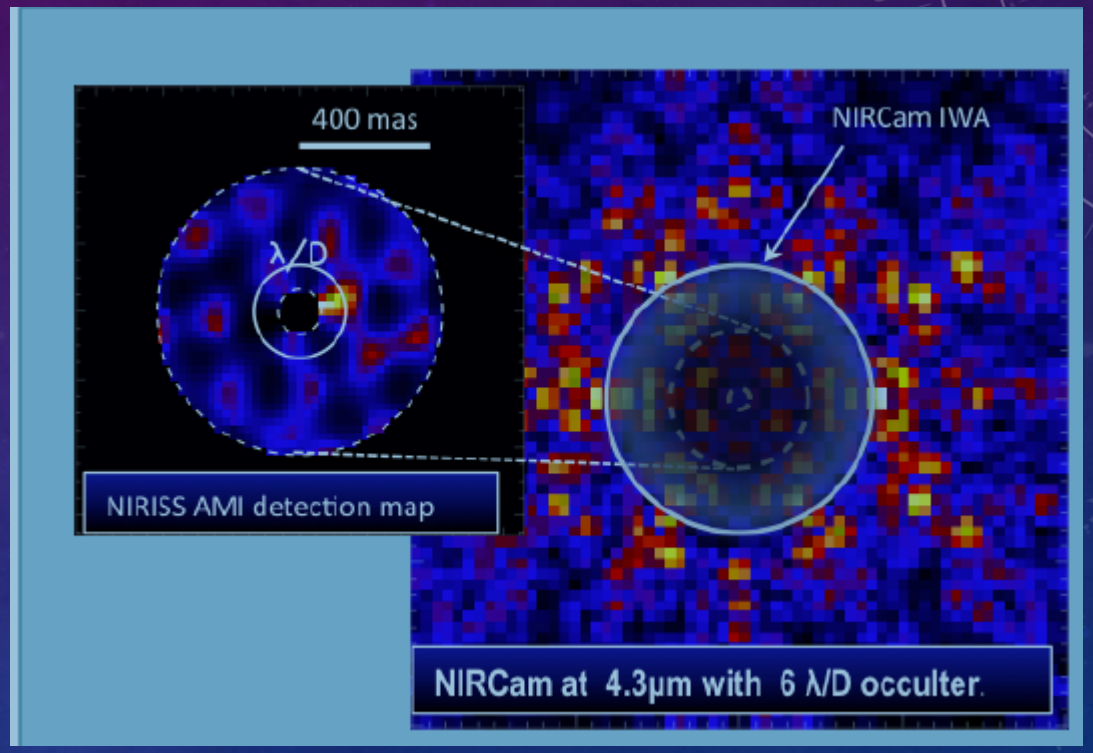
➢ FGS Système de Guidage

2 cameras redondantes de 2,3' x 2,3' de champ optique

NIRISS/FGS

➢ Interferomètre à masque non redondant





4-Pour quelle science?

La fin de “l’âge sombre”: L’univers primordial

Un des objectifs principaux du JWST : Faire la lumière sur le dernier grand changement de phase de l’univers: la ré-ionisation :

- Dater cette réi-onisation avec précision
- Quelles sont les sources de celle-ci (étoiles galaxies, trous noirs etc…)
- Comment se sont formées les premières galaxies

La formation des galaxies et leur évolution

En 2003, puis en 2009, grâce au télescope Hubble nous avons observé un champ profond dans une région du ciel apparemment vide.

Nous avons observé avec surprise la présence de nombreuses galaxies irrégulières.

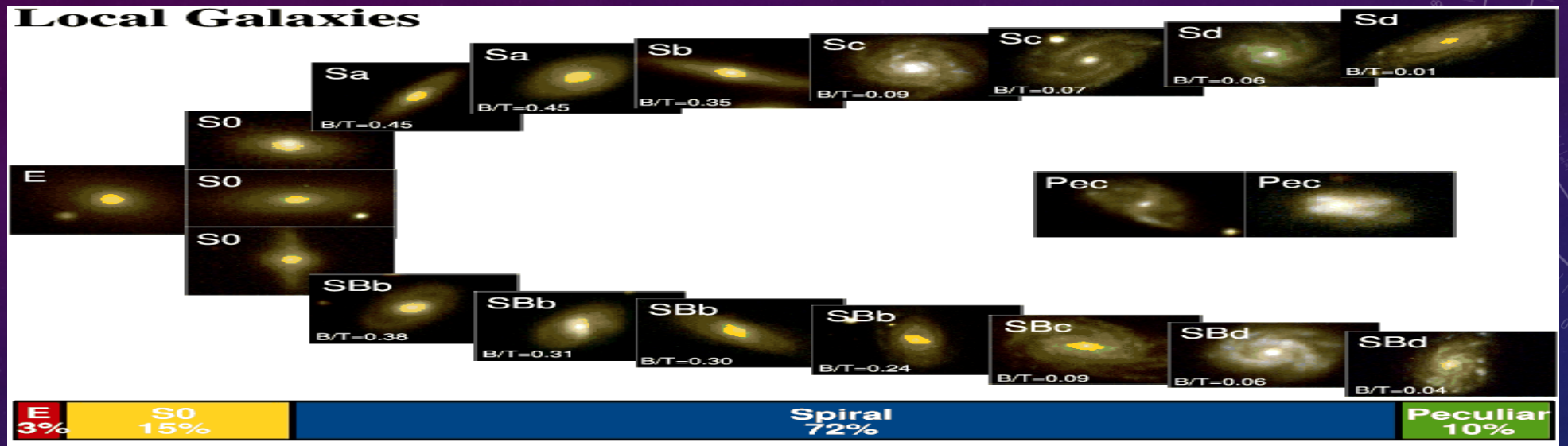
La théorie actuelle de la formation des galaxies repose sur un process hiérarchique:

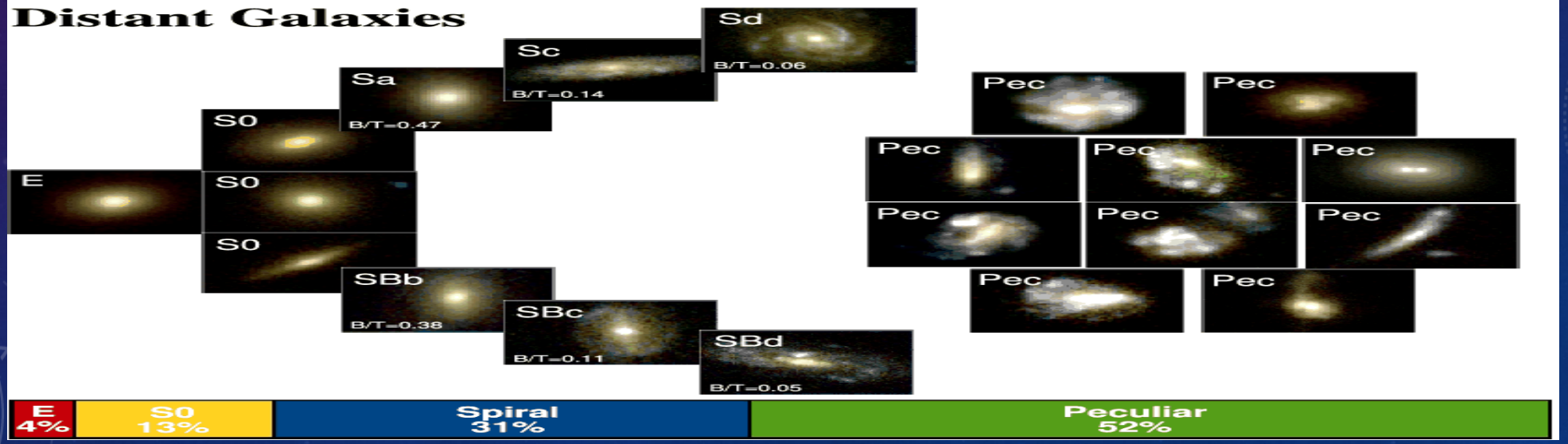
- Les premières galaxies de petites tailles se forment puis s'assemblent pour en former de plus grandes aboutissant à la classification de Hubble

- Cette histoire s'accompagne d'une évolution chimique des galaxies et de leurs étoiles. Au fur et à mesure que les étoiles se forment, elles participent à la nucléosynthèse puis enrichissent le milieu stellaire en mourant.

Le JWST permettra de répondre à des questions telles que : comment et quand se forme la séquence de Hubble? Comment se forment les éléments lourds? Quels sont les principes physiques déterminant les propriétés des galaxies? Quel est le rôle de trous noirs dans leur évolution?

La formation des galaxies et leur évolution





JWST ADVANCED DEEP EXTRAGALACTIC SURVEY (JADES)

- Programme de 950 heures d'observations de 2 champs profonds GOODS-N et GODDS-S, déjà bien connus grâce au HST.

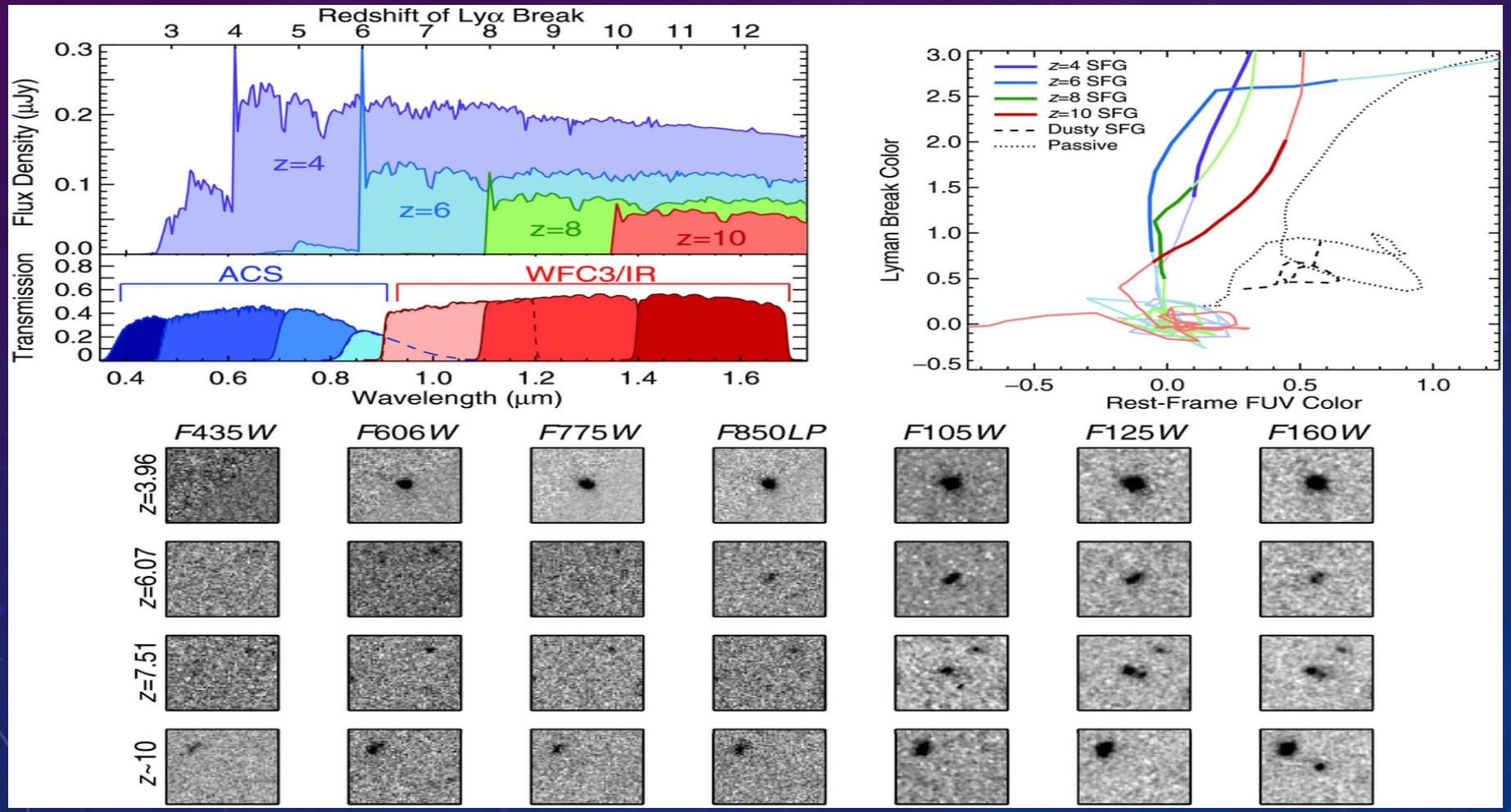
- Ce programme est typique du travail qui sera effectué pour l'étude de la ré-ionisation de l'univers sur la formation des galaxies. Il utilisera les capacités des 3 instruments NIRCAM, NIRSPEC et MIRI.

- C'est une collaboration des équipes qui ont conçu les 3 instruments et qui ont de ce fait des heures d'observation réservées.

- L'objectif est de réaliser une étude des galaxies de Z=2 jusqu'à Z=10 voire plus, pour en déduire des paramètres permettant de comprendre la formation des galaxies et de poser des contraintes sur les sources de ré-ionisation.

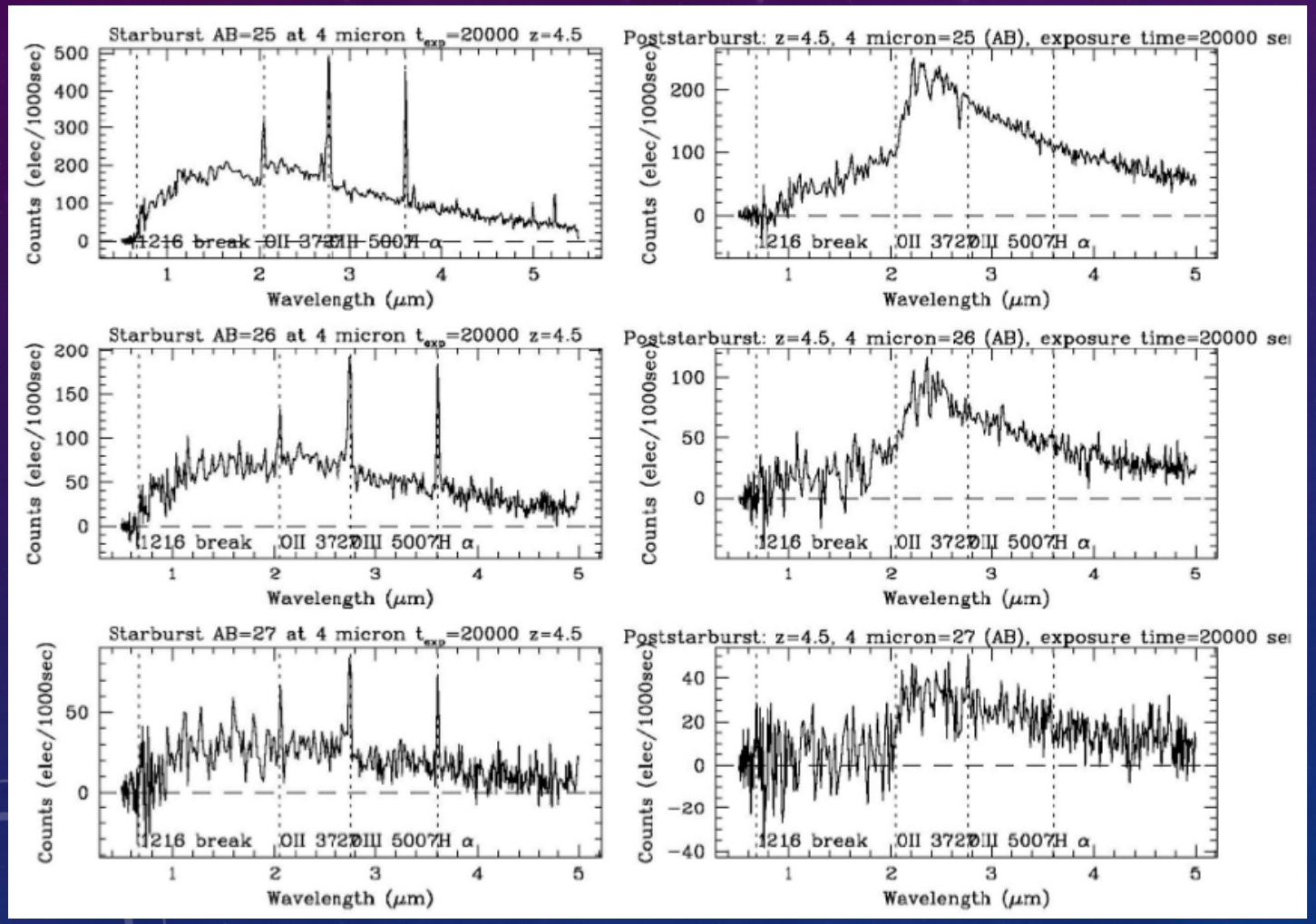
JWST ADVANCED DEEP EXTRAGALACTIC SURVEY (JADES):

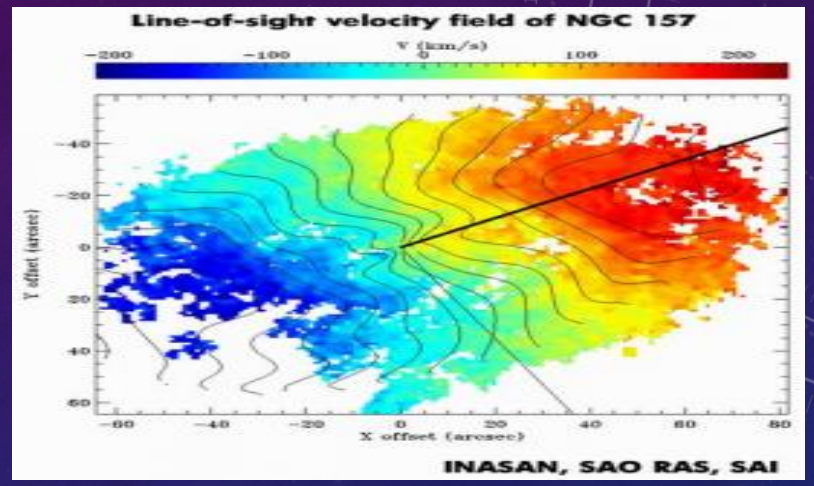
1- Utilisation de NIRCAM pour la sélection rapide des galaxies à différents Redshifts



JWST ADVANCED DEEP EXTRAGALACTIC SURVEY (JADES):

2- Etudes spectroscopiques avec NIRSPEC



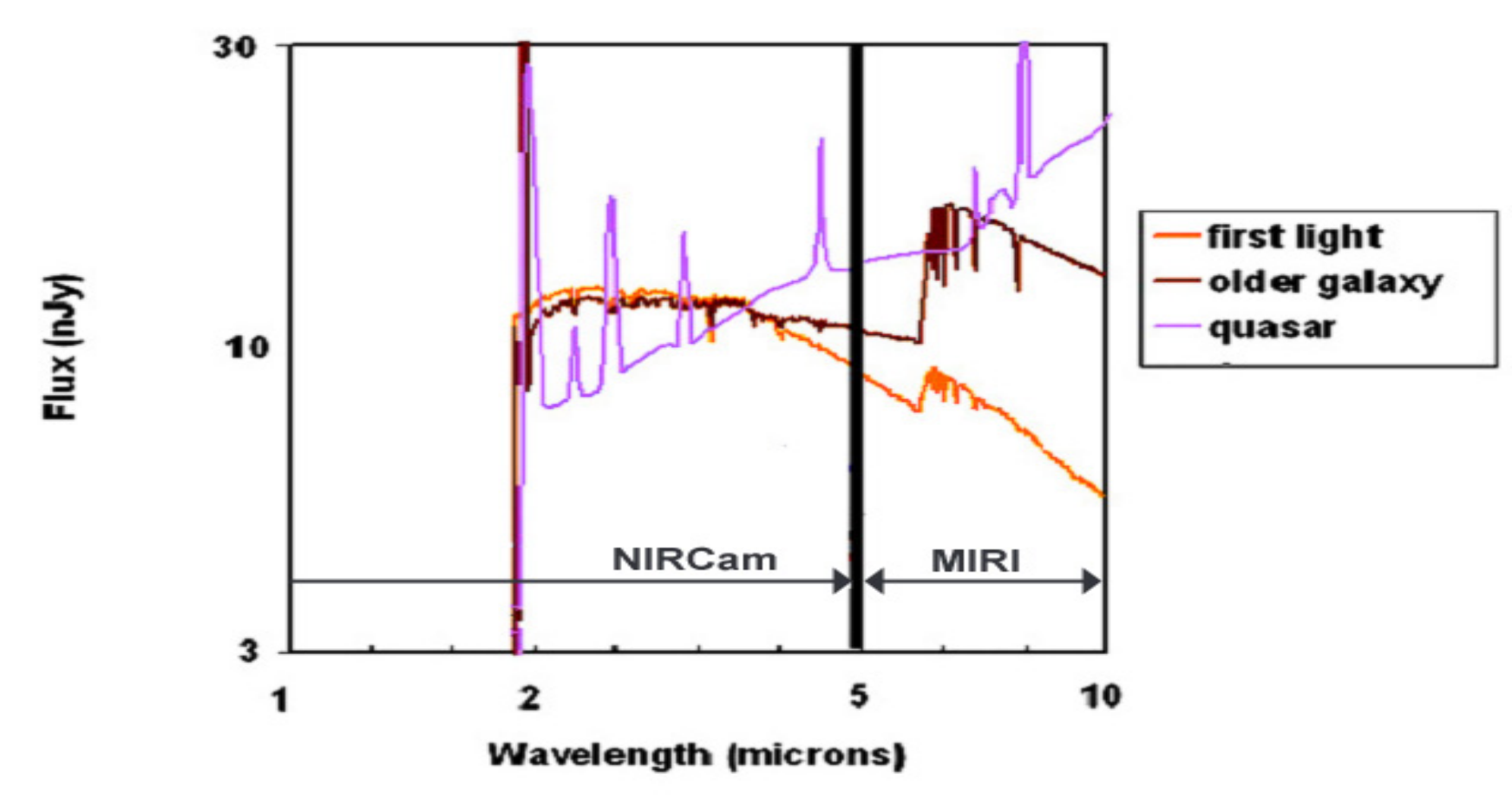


L'étude des spectres nous permet d'accéder à différents paramètres:

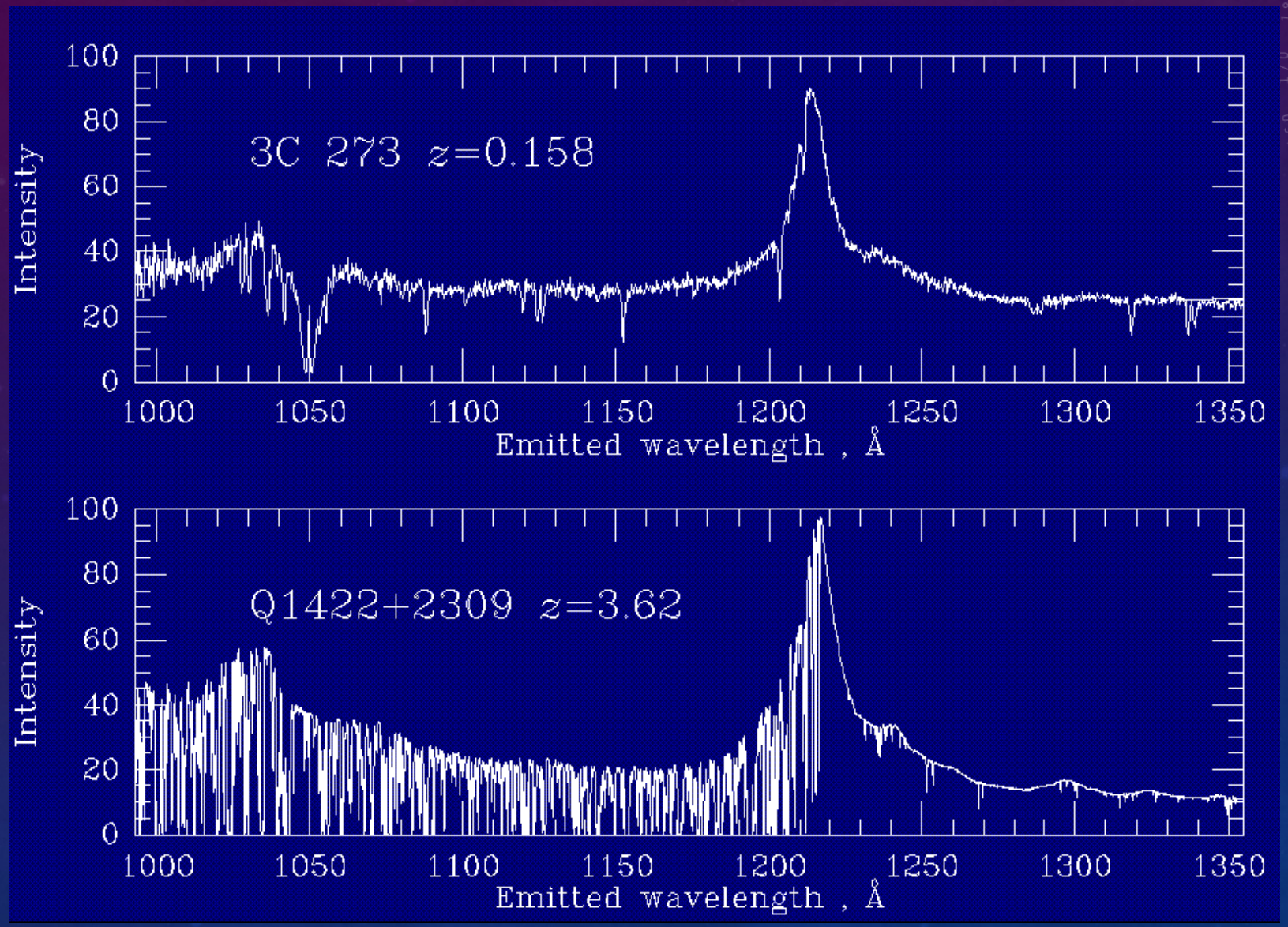
- Distance (redshift)
- Température (raies interdites de l'oxygène)
- Masse des galaxies
- Taux de formation d'étoiles (Halpha, Lyman alpha))
- Densité des milieux
- Présence de poussières, caractérisation
- Métallicité des étoiles, des gaz
- Cinématique de la galaxie etc…

JWST ADVANCED DEEP EXTRAGALACTIC SURVEY (JADES):

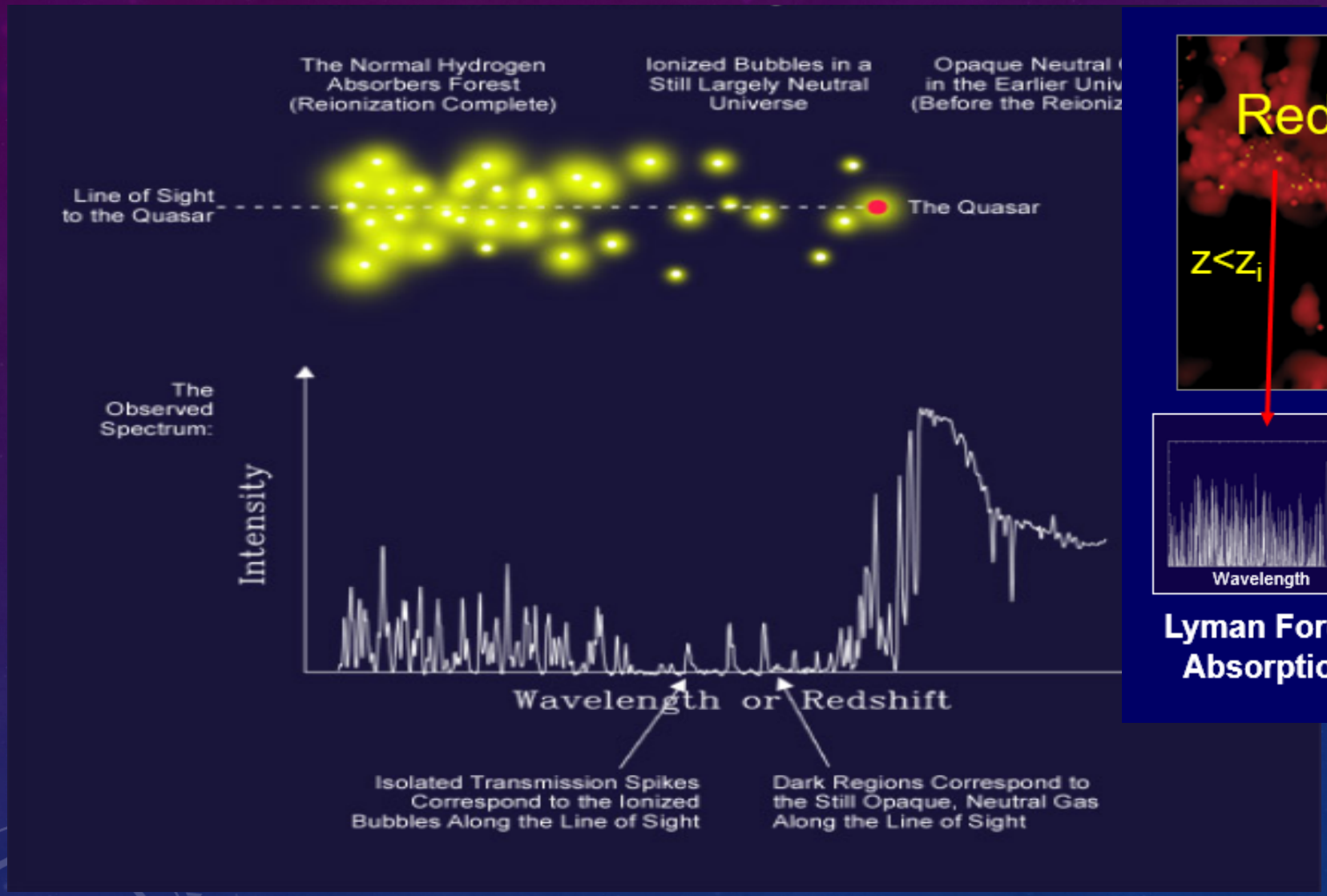
3-L'apport de MIRI



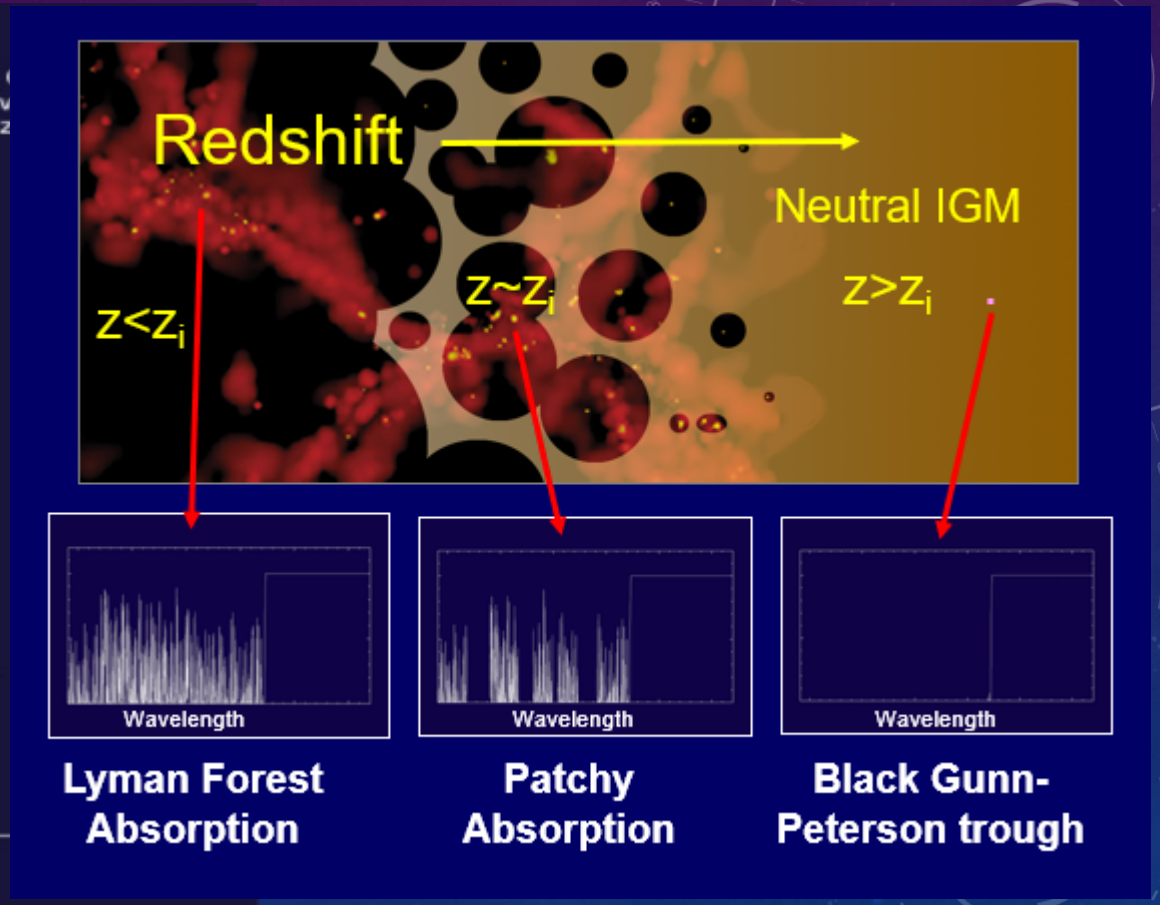
La forêt Lyman Alpha



La forêt Lyman Alpha



Source : Cristiano Porciani



Source : John Mather

La naissance des étoiles et des systèmes protostellaires :

- Bien que nous étudions depuis des millénaires les étoiles, leur formation n'est encore pas bien comprise.

  La théorie propose l'effondrement de nuages de gaz et de poussières sous l'effet de la gravité, Beaucoup de ces étoiles sont accompagnées d'un cortège d'exoplanètes.

- Au cours de leur vie dans les galaxies et lors de leur mort, elles vont libérer des atomes issus de la nucléosynthèse stellaire indispensables à la formation des planètes et de la vie.

- La théorie de la formation des planètes reste incomplète et à préciser .

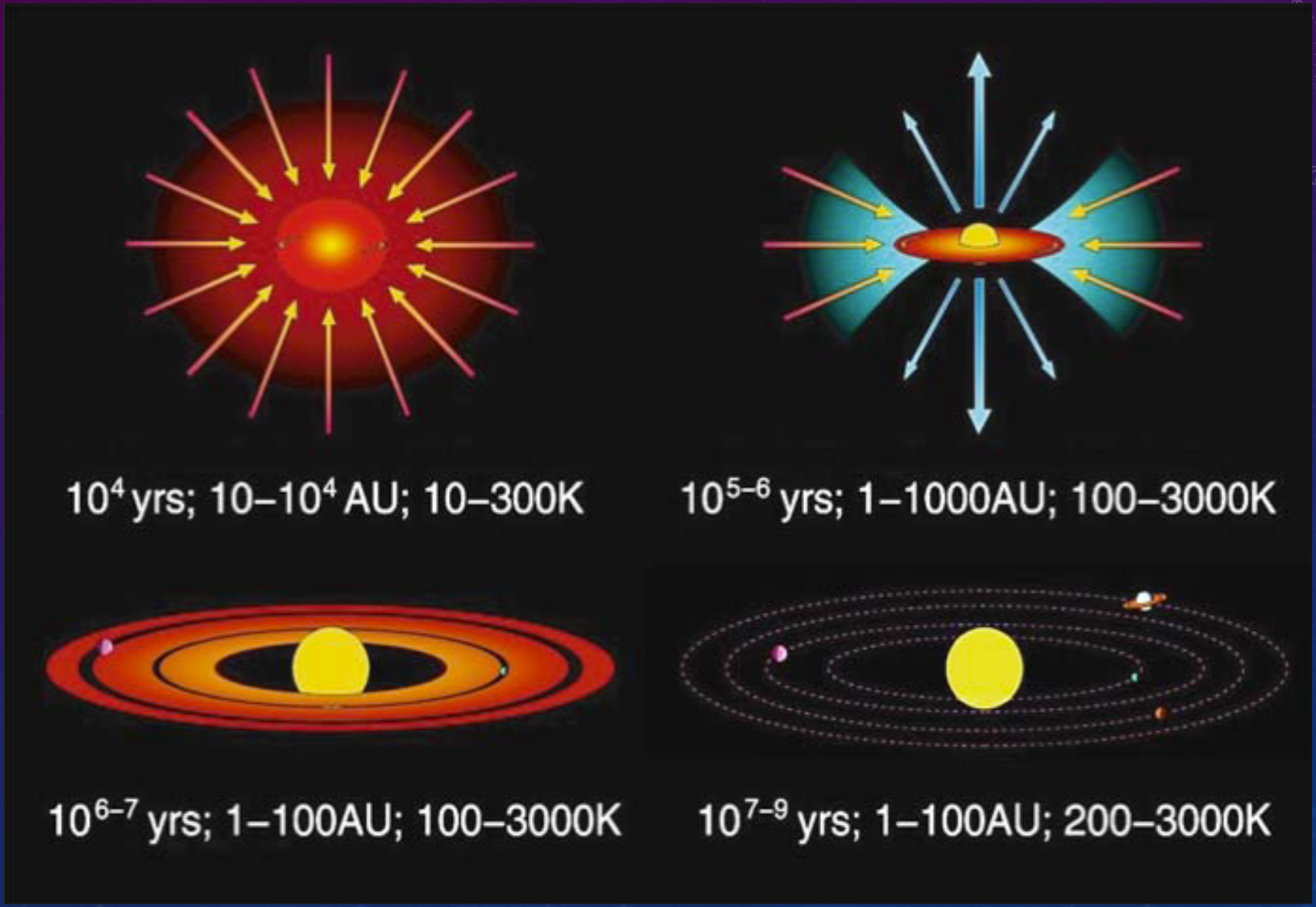
Le JWST participera à comprendre comment les nuages s'effondrent, quel est l'impact de l'environnement sur la formation des étoiles et inversement, comment les nuages se condensent pour former les étoiles et les planètes, comment les étoiles évoluent et ensemencent l'univers pour participer aux naissances d'étoiles ultérieures et de la vie.

La formation des étoiles

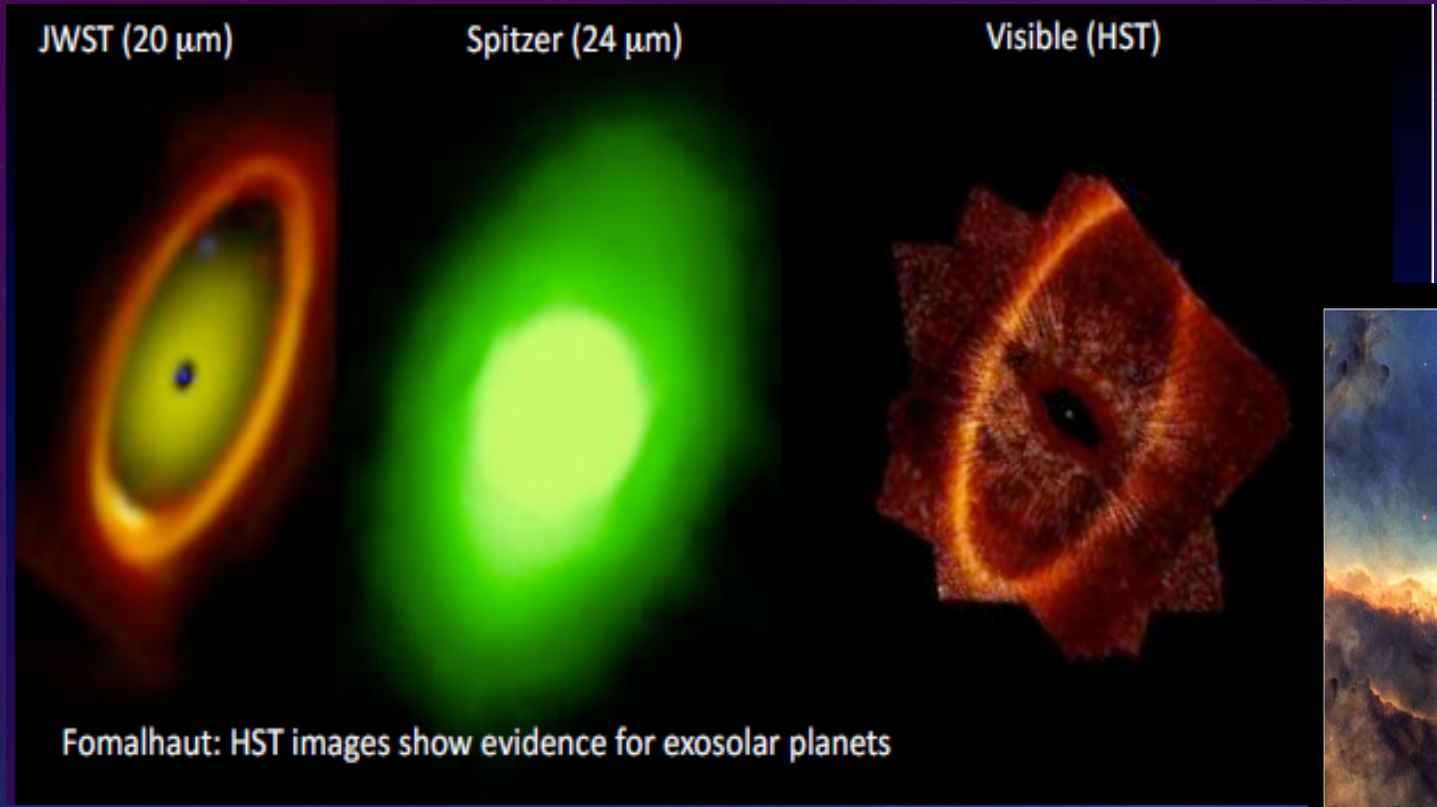
- Cela va permettre de répondre aux questions suivantes :

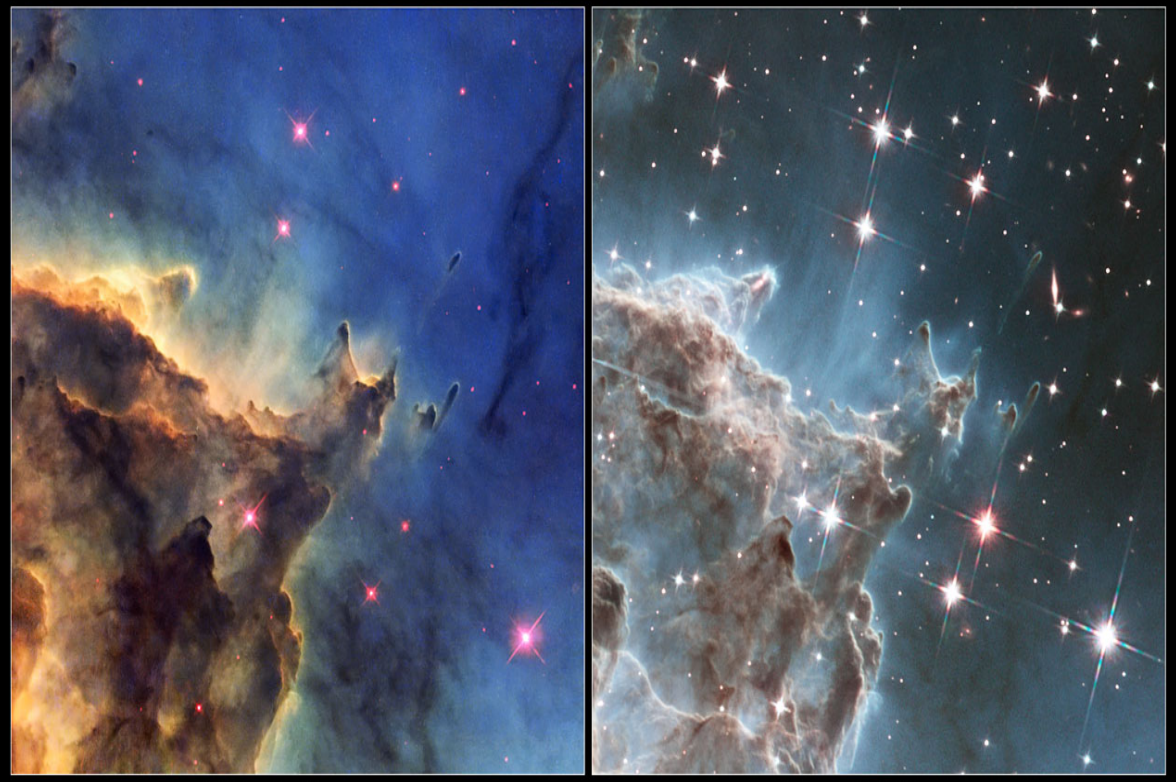
  - Comment les nuages de gaz s'effondrent pour former des étoiles?
  - Pourquoi la plupart des étoiles se forment en groupe?
  - Comment se forment les systèmes d'exoplanètes?
  - Comment les étoiles évoluent et ensemencent l'univers pour participer aux naissances d'étoiles ultérieures et de la vie?

La formation des étoiles



La formation des étoiles

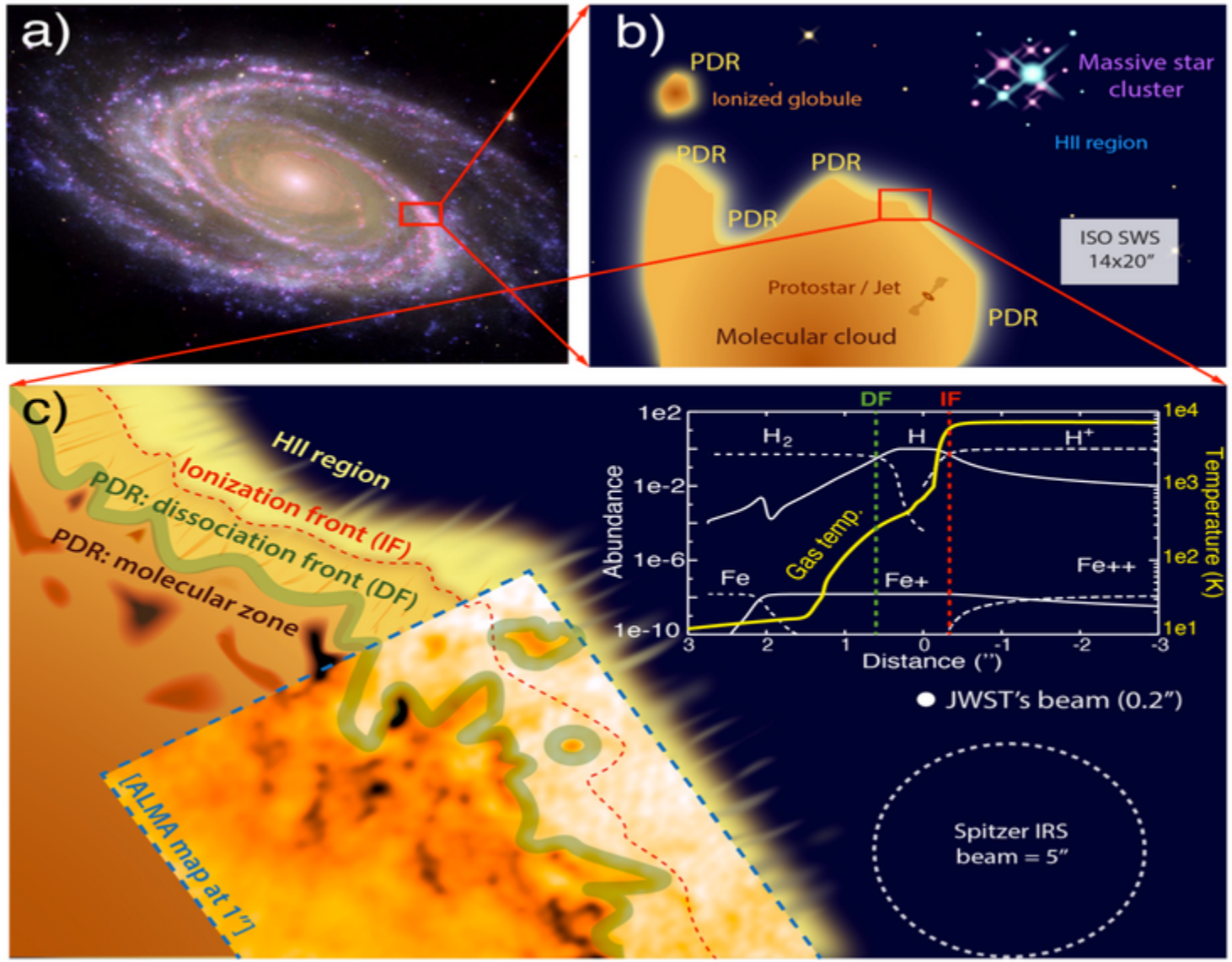




Visible ▪ WFPC2 ▪ 2001

Infrared ▪ WFC3/IR ▪ 2014

La formation des étoiles



Source: https://www.ias.u-psud.fr

L’étude des exoplanètes

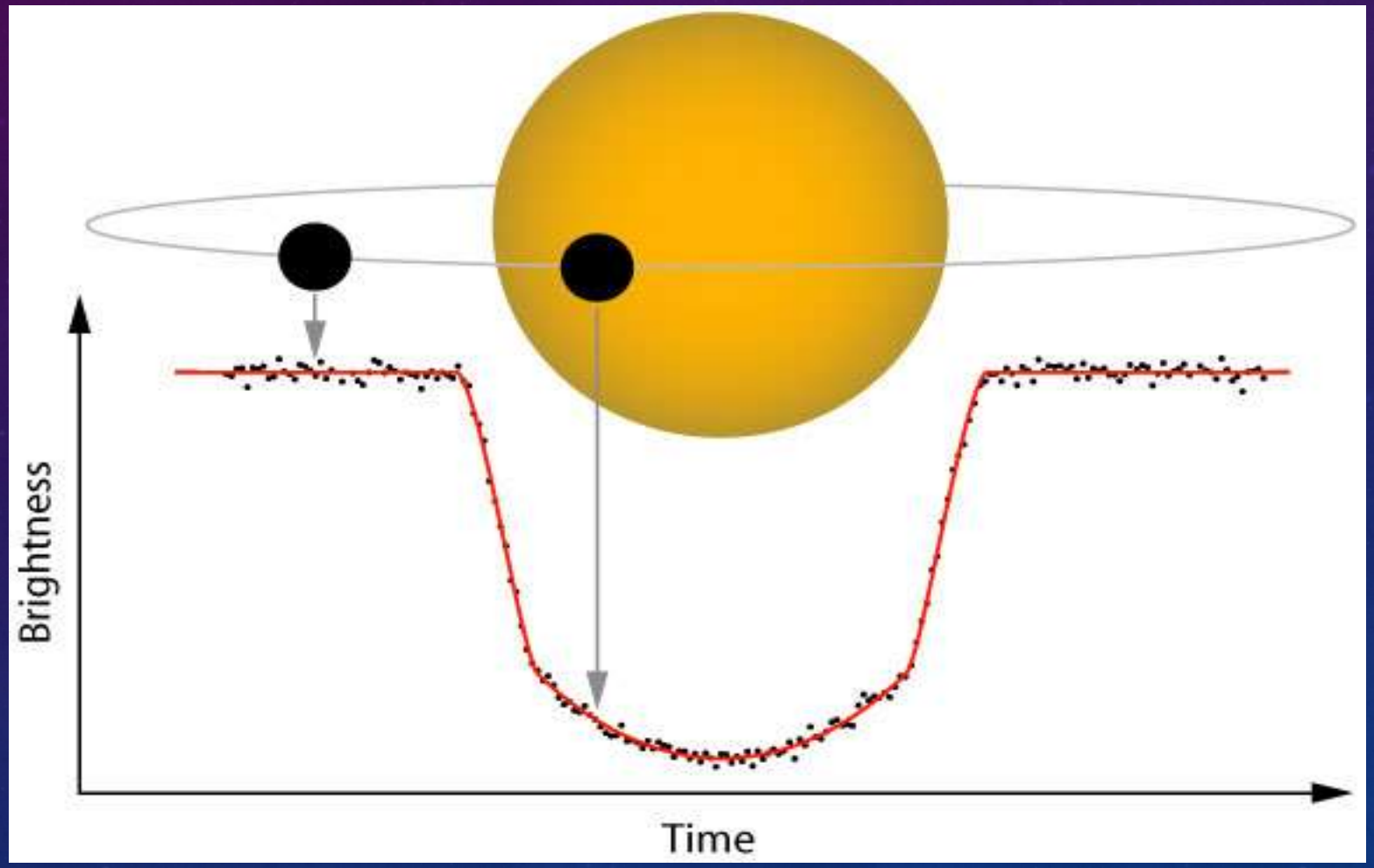
Le télescope va permettre d’imager et d’étudier en détail les disques protoplanétaires et les exoplanètes que nous connaissons.

Il permettra de répondre aux questions suivantes:

- Comment s’assemblent les blocs formant les planètes?
- Où se forment les planètes dans le disque et se déplacent-elles vers le centre du système?
- Comment atteignent-elles leur orbite finale?
- Recherche d’exoplanètes dans les zones habitables
- Ont-elles une atmosphère ? De l’eau? etc….

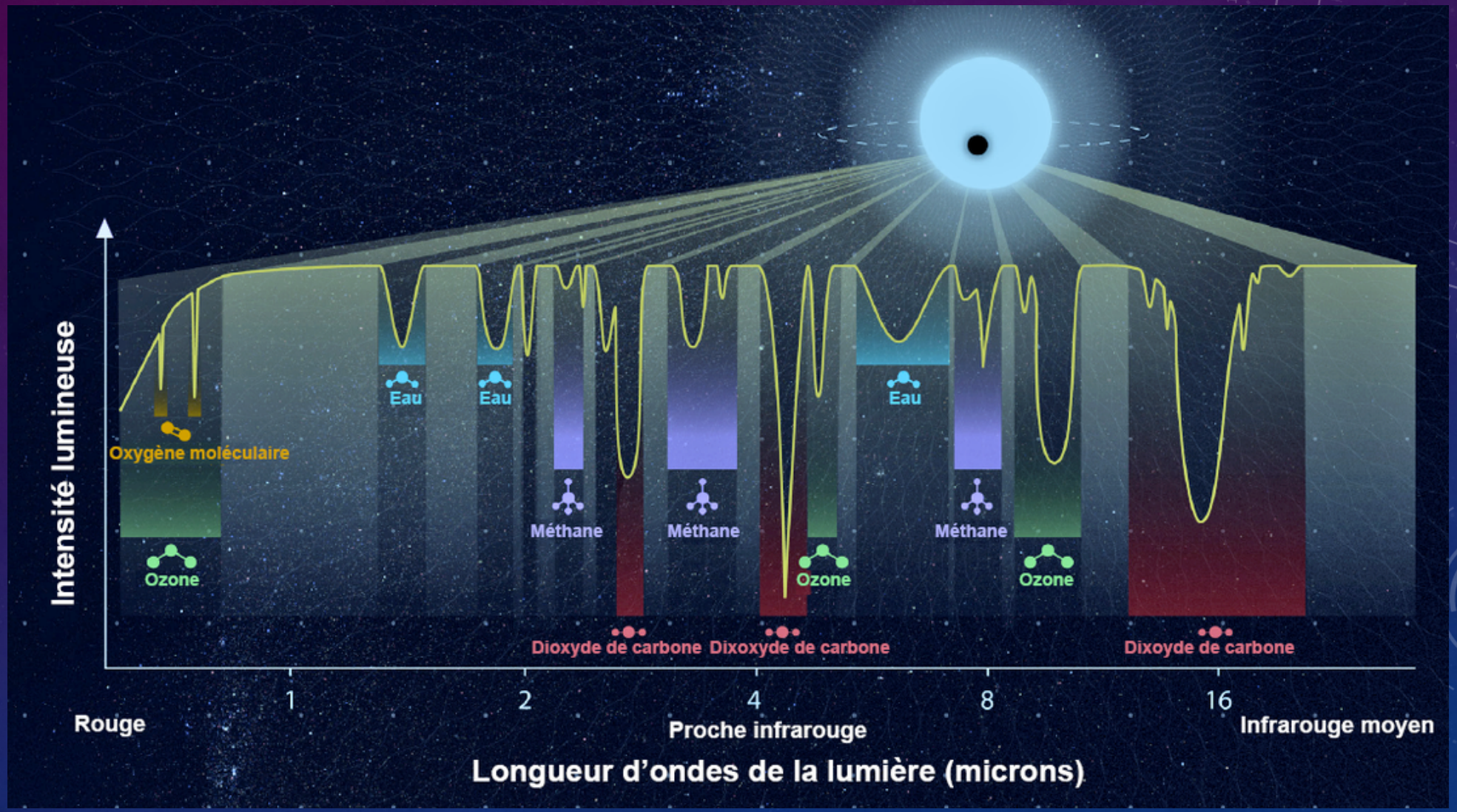
L'étude des exoplanètes

1: étude du transit



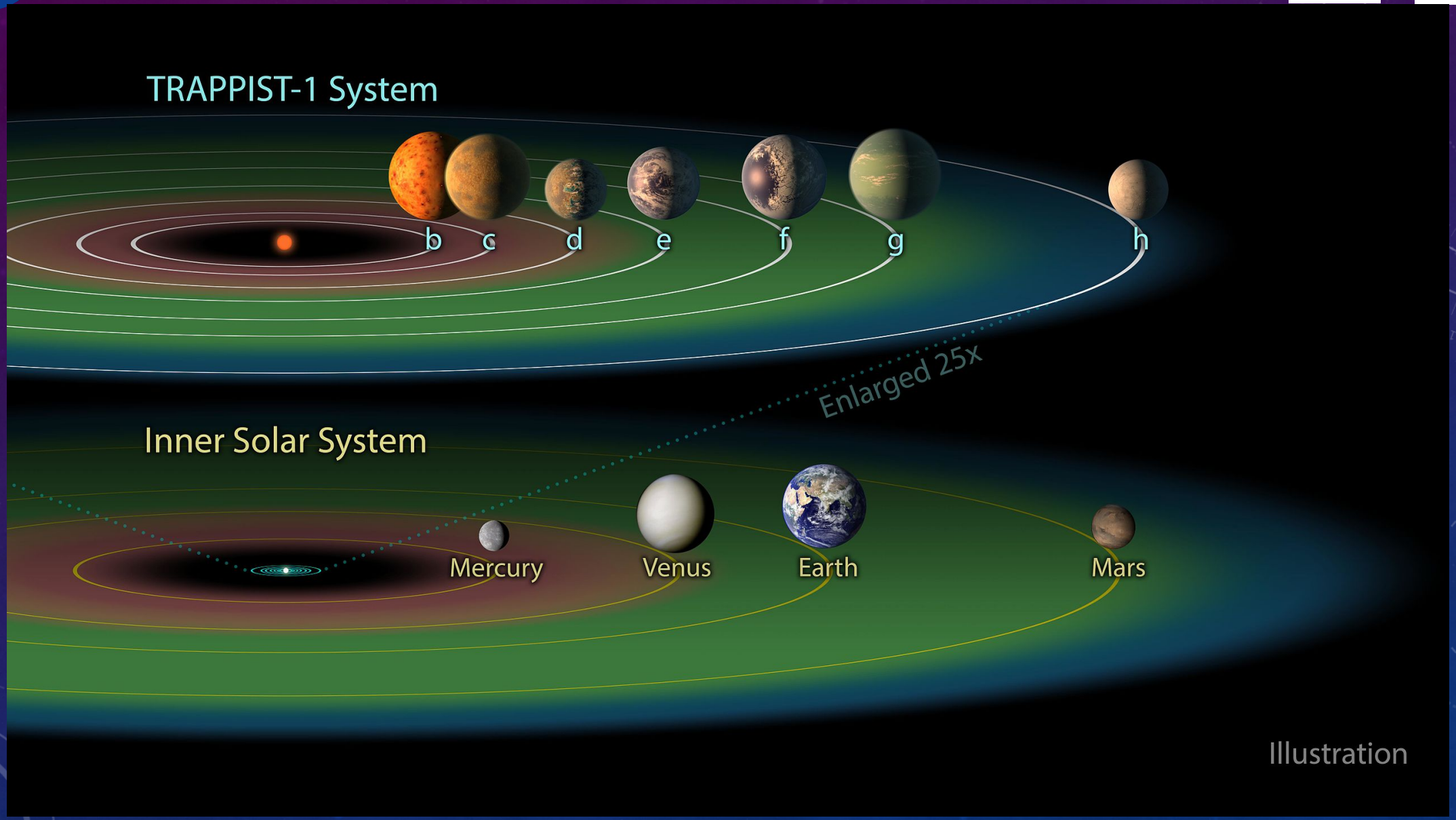
Source: futura science

L'étude des exoplanètes

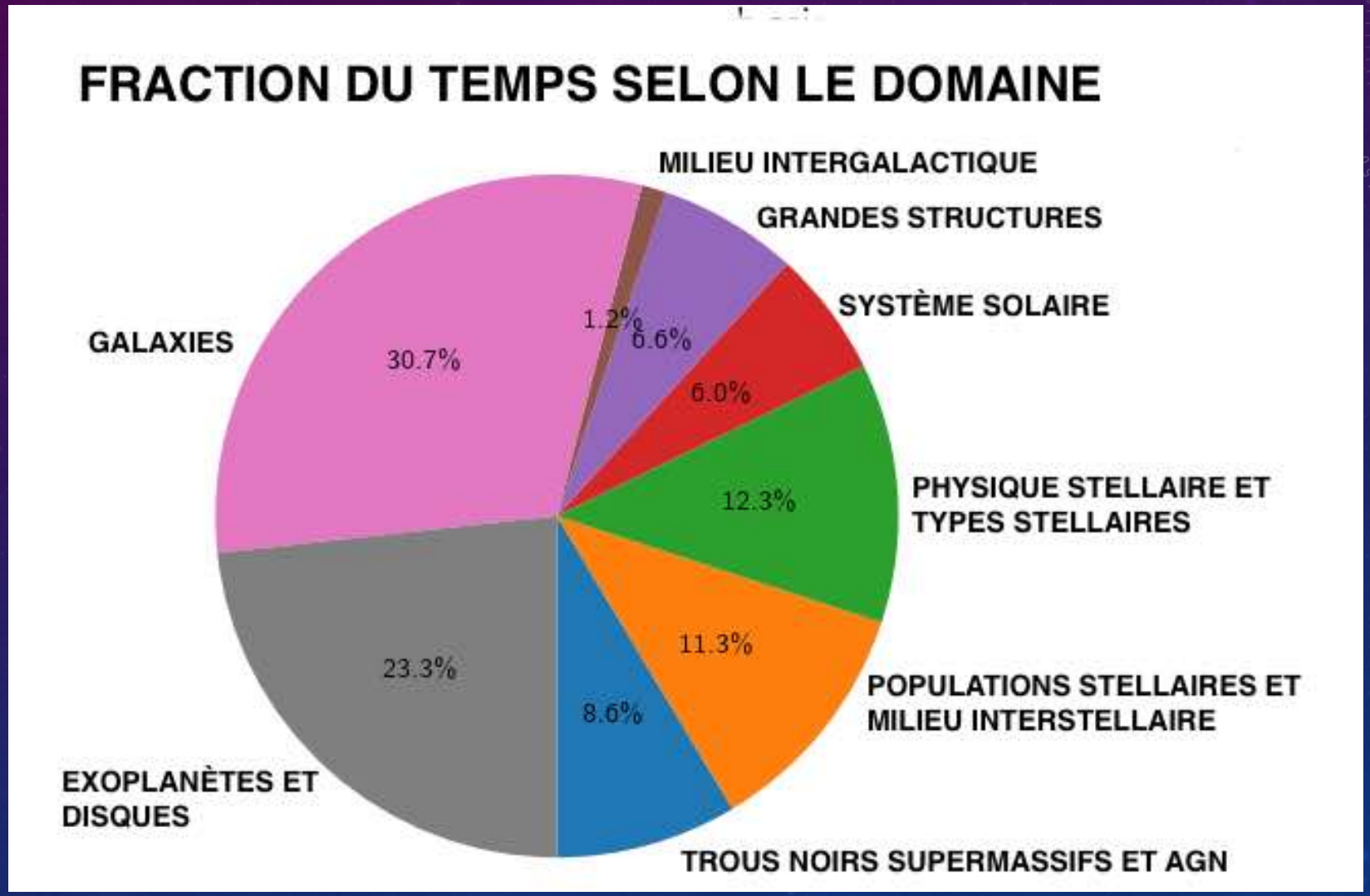


Source: altoros.com

Le système trappist:



LA REPARTITION DU TEMPS D'OBSERVATION
1er cycle d'observation



Source: altoros.com

CONCLUSION