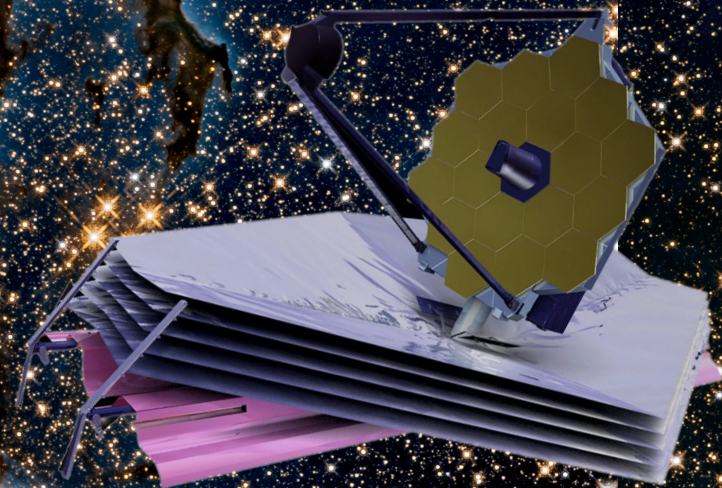


# La quête de nos origines cosmiques avec le téléscope spatial James Webb

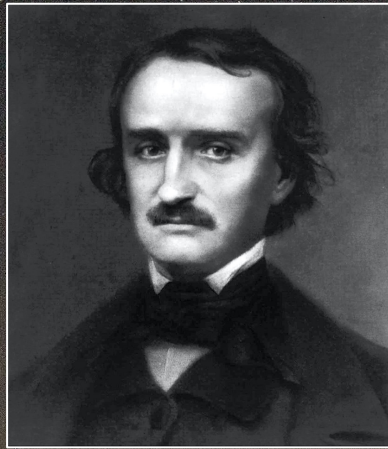
David Elbaz  
CEA





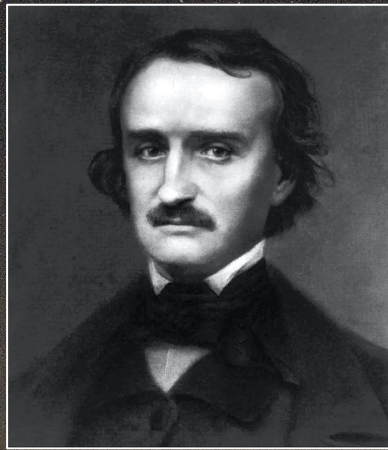
« la distance du fond invisible est si grande que sa lumière n'a pas eu le temps de nous parvenir »

*Euréka ou Essai sur l'univers matériel et spirituel, Edgar Poe (1848)*



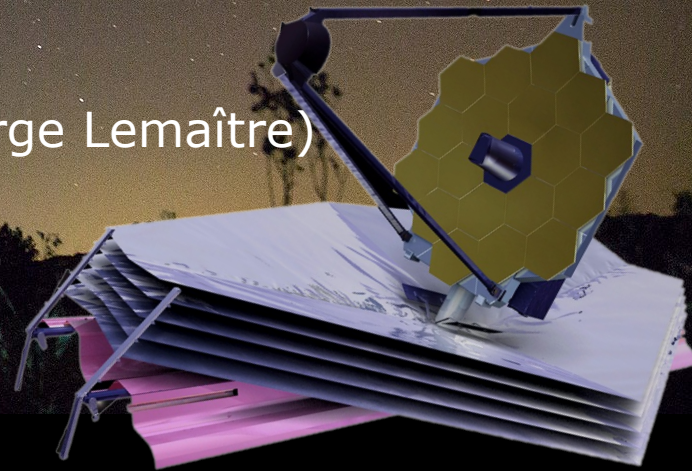
« la distance du fond invisible est si grande que sa lumière n'a pas eu le temps de nous parvenir »

*Euréka ou Essai sur l'univers matériel et spirituel, Edgar Poe (1848)*



1. L'univers a eu un « commencement » (George Lemaître)
2. La nuit n'est pas noire, elle est infrarouge...

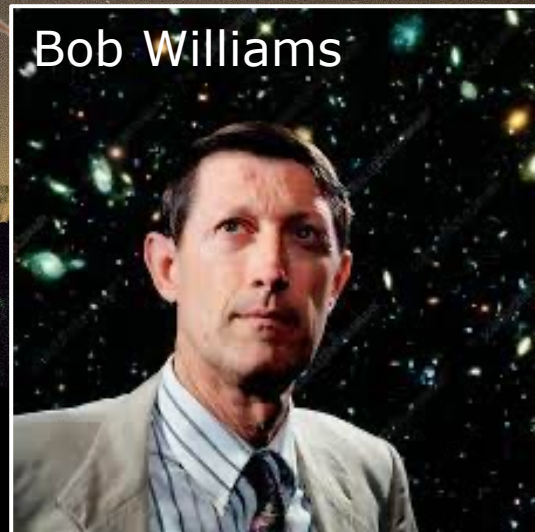
= les deux motivations du JWST



« La nation tout entière est douée d'une si surprenante habileté en sorcellerie, que les enfants, les chats et les chiens eux-mêmes les plus ordinaires n'éprouvent aucune difficulté à percevoir des objets qui n'existent pas du tout, ou qui depuis vingt millions d'années avant la naissance de ce peuple ont disparu de la surface du monde » Paroles de Schéhérazade dans *Le Mille et deuxième conte de Schéhérazade*, Edgar Poe (1845)



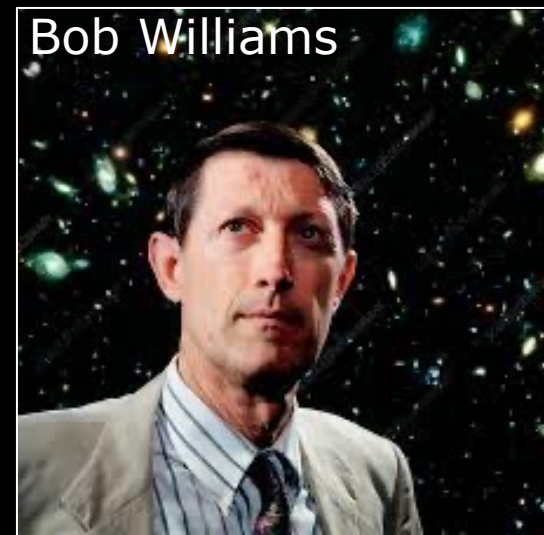
« La nation tout entière est douée d'une si surprenante habileté en sorcellerie, que les enfants, les chats et les chiens eux-mêmes les plus ordinaires n'éprouvent aucune difficulté à percevoir des objets qui n'existent pas du tout, ou qui depuis vingt millions d'années avant la naissance de ce peuple ont disparu de la surface du monde » Paroles de Schéhérazade dans *Le Mille et deuxième conte de Schéhérazade*, Edgar Poe (1845)



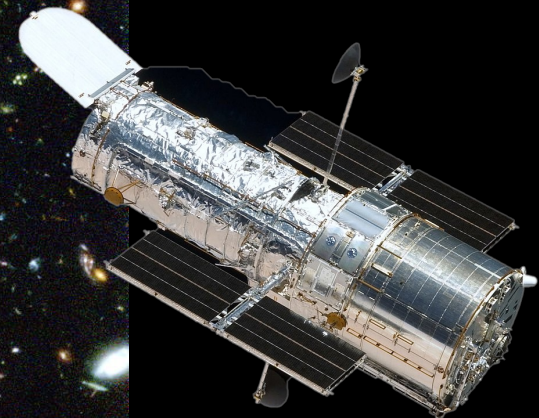
*I was hoping for a committee consensus to emerge... but that did not happen. After debating the topic for a day there was no agreement on most of the major issues discussed.*

*J'espérais qu'un consensus émergerait du comité... mais ça n'est pas arrivé. Après qu'ils aient débattu du sujet pendant une journée, il n'y a pas eu d'accord sur la plupart des grandes questions abordées.*

Comité d'experts : Sandy Faber, Alan Dressler, Simon Lilly, Ken Kellerman, Richard Ellis, Len Cowie, Frazer Owen



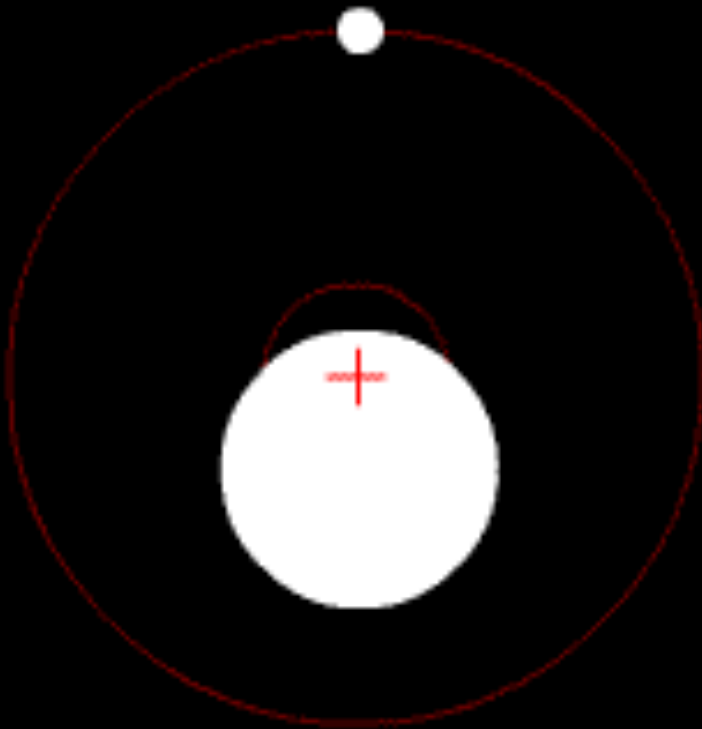
25 décembre 1995  
le Hubble Deep Field  
(10 jours)



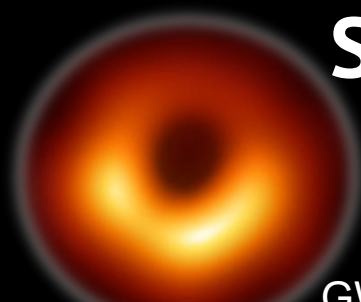




1<sup>ère</sup> exoplanète 1995 (Jupiter chaud)  
Mayor & Queloz, Nobel 2019  
51 Pegasi b / vitesse radiale



# Siècle d'or pour l'astrophysique

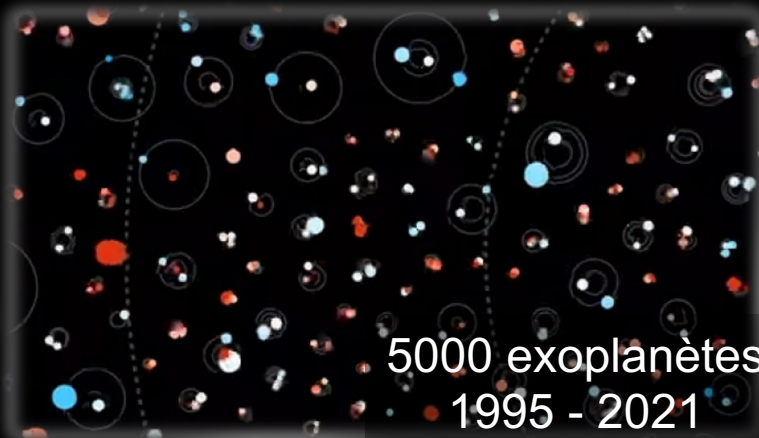


10 avril 2019

GW150914

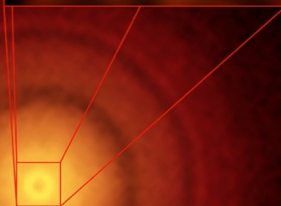
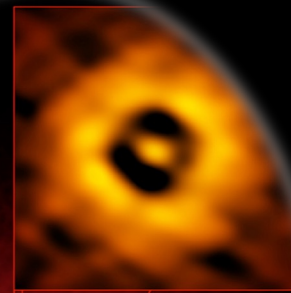


LIGO-VIRGO  
ondes gravitationnelles



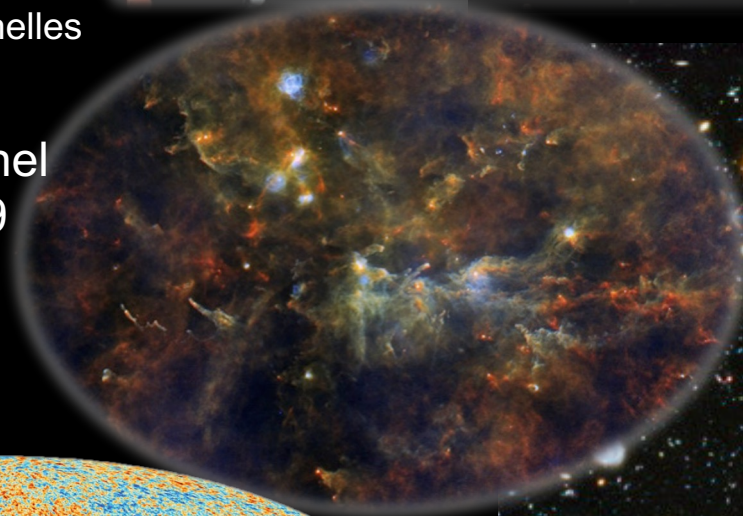
5000 exoplanètes  
1995 - 2021

ALMA  
2016

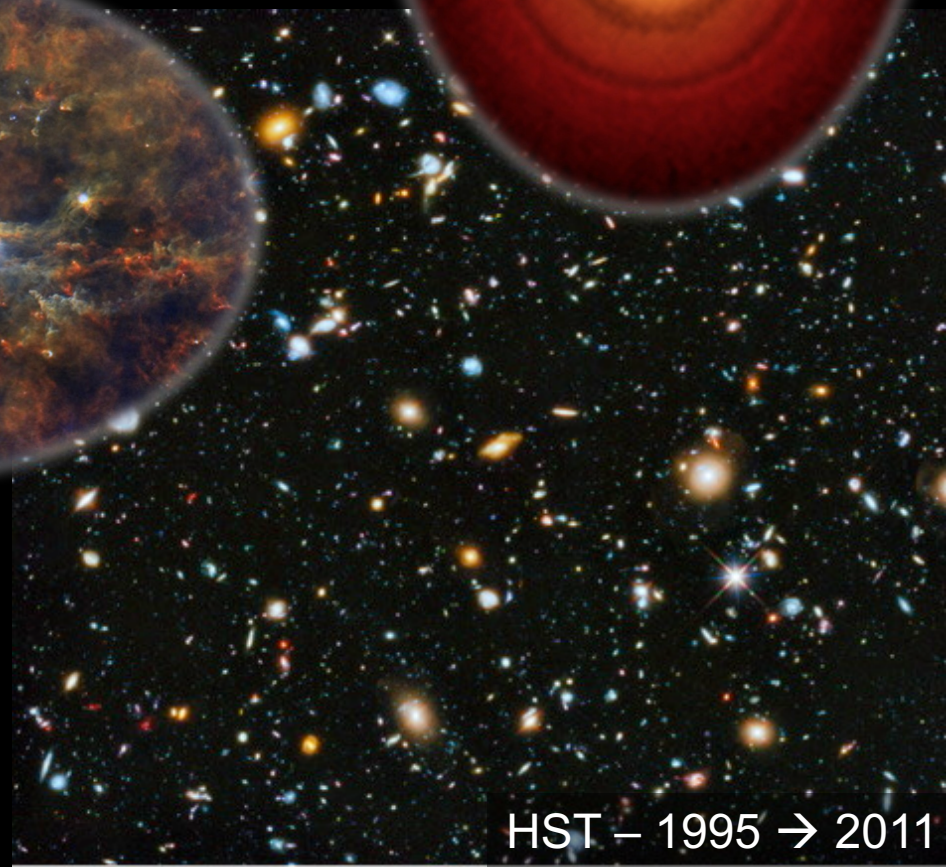
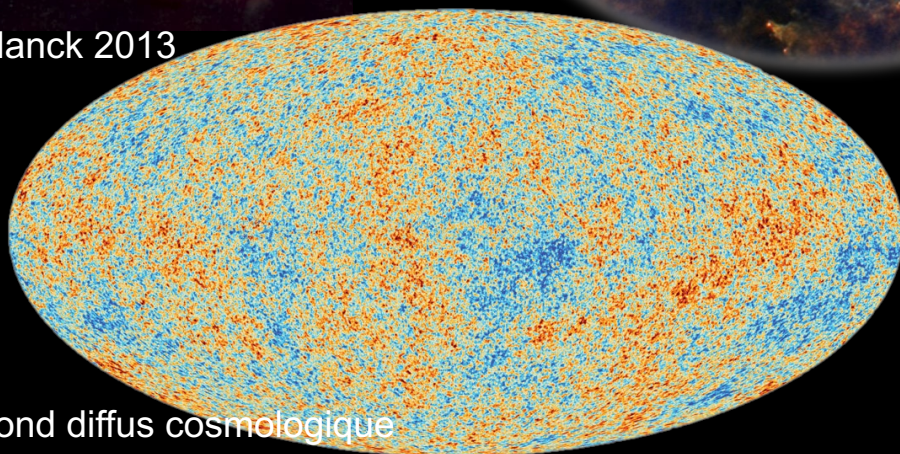


Planck 2013

Herschel  
2009

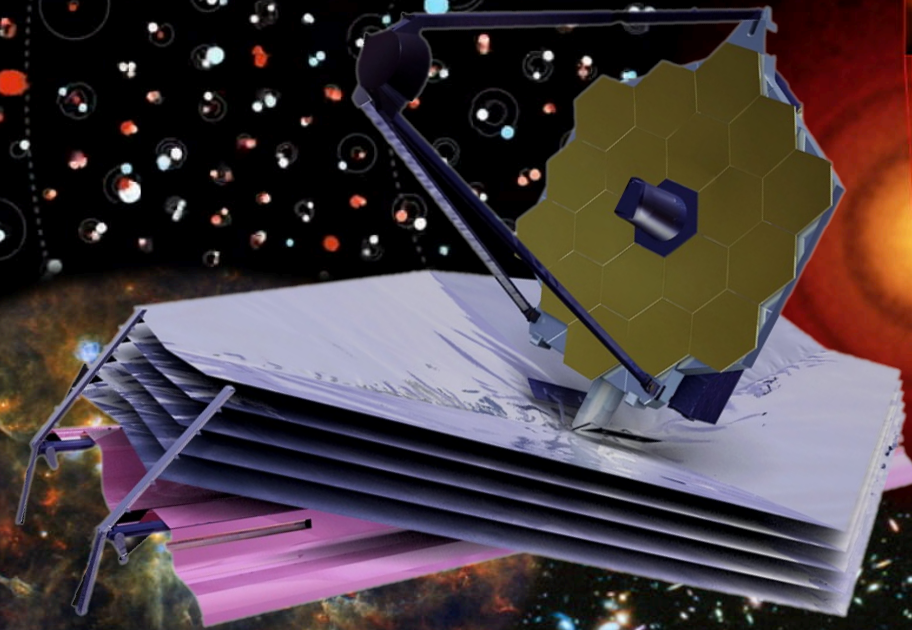
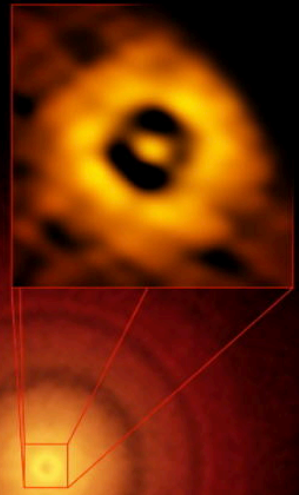


Fond diffus cosmologique



HST - 1995 → 2011

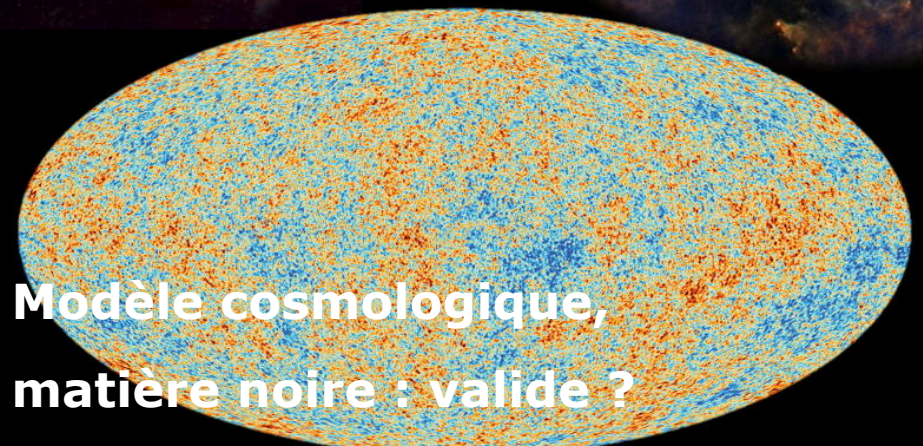
**Atmosphères  
d'exoplanètes ?**



**Rôle des trous noirs ?**



**Histoire cachée  
des naissances stellaires ?**



**Modèle cosmologique,  
matière noire : valide ?**

**Premières galaxies ?**





mercredi 21 novembre 1962  
Cabinet de la Maison Blanche, 10h



(John Kennedy): ...Those that are not essential to the lunar program, but help contribute over a broad spectrum to our preeminence in space, **are secondary**. That's my feeling about this.

(James Webb): All right, sir, but let me say this. If I go out and say that this is the number one priority and everything else must give way to it, **I'm going to lose an important element of support for your program** and for your administration.

(John Kennedy): By whom? Who?

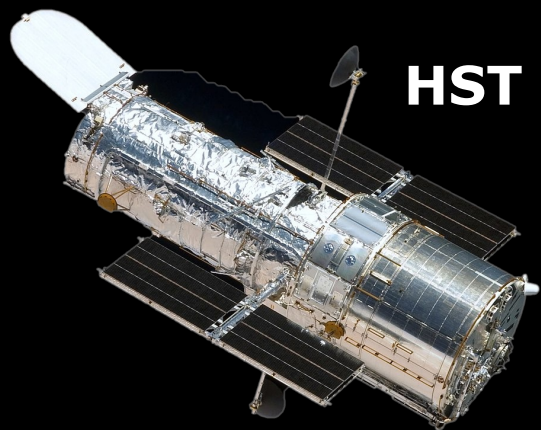
(James Webb): By a large number of people.

(John Kennedy): Who? Who?

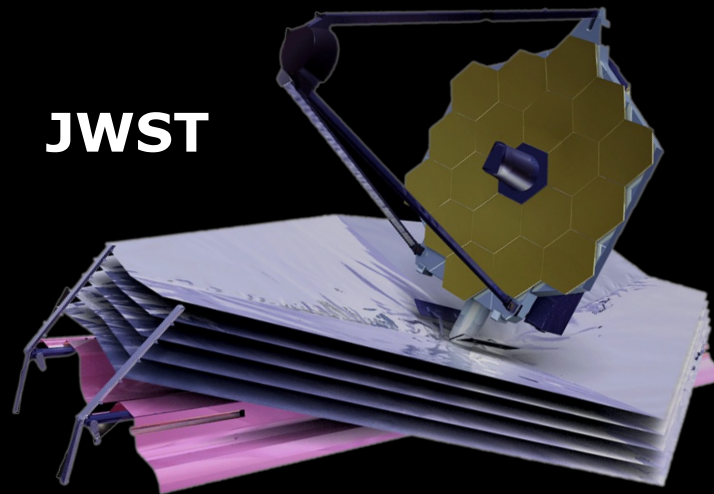
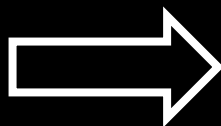
(James Webb): Well, particularly the **brainy people in industry and in the universities** who are looking at a solid base. I'm going to lose-

*<https://millercenter.org/the-presidency/educational-resources/fly-me-to-the-moon>*

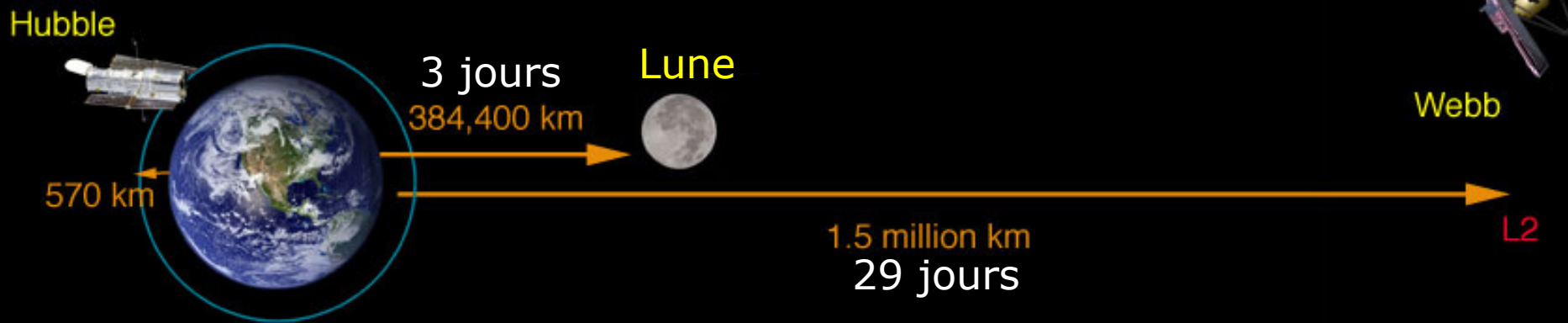
25 décembre 2021 : ~30 ans après le télescope spatial Hubble  
lancement de son successeur, le télescope spatial James Webb ou JWST

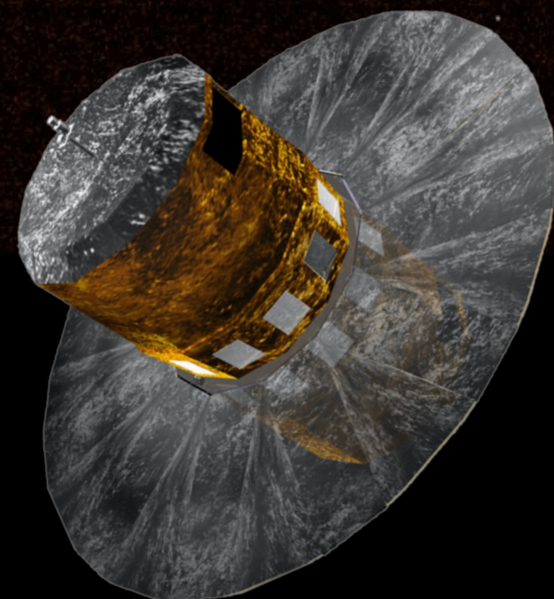
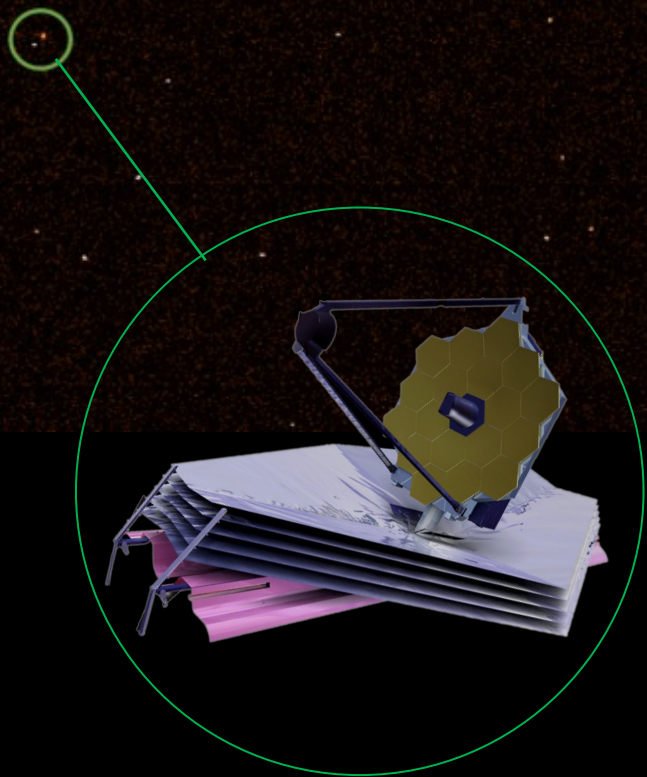


**HST**



**JWST**







JWST.fr

# JWST

James Webb Space Telescope

## LE TÉLESCOPE SPATIAL JAMES WEBB A ÉTÉ LANCÉ PAR UNE FUSÉE ARIANE 5 ECA DEPUIS LE CENTRE SPATIAL DE KOUROU EN GUYANE LE 25 DÉCEMBRE 2021 À 13H20 (HEURE DE PARIS)

L'observatoire a atteint son orbite autour de L2 le 24 janvier 2022 à 20h04, après que tous ses composants se sont déployés d'une manière spectaculaire (écran solaire, miroir secondaire, ajustement des segments du miroir primaire..). La prochaine étape consiste maintenant à attendre que les températures permettent aux divers instruments de fonctionner, pendant que les experts opticiens « alignent » au plus fin tous les segments du miroir primaire (cela prendra plusieurs mois!).

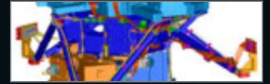
Développé par la NASA en coopération avec l'Agence Spatiale Européenne (ESA) et l'Agence Spatiale Canadienne (ASC), le JWST observera l'univers dans l'infrarouge.



DEPUIS LA MISE EN ORBITE IL S'EST ÉCOULÉ...

**64 jours 19 heures 22 minutes 32 secondes**

### Actualités



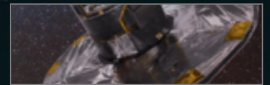
MIRI ENTAME SA DESCENTE ACCELEREE VERS LE GRAND FROID !

19-03-2022



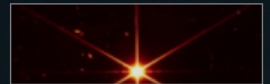
Un nouveau radiotélescope géant pour communiquer avec les missions dans l'espace lointain

19-03-2022



Gaia prend une photo du JWST autour de L2

17-03-2022



Une nouvelle étape de franchie : l'optique du JWST fonctionne avec succès

17-03-2022

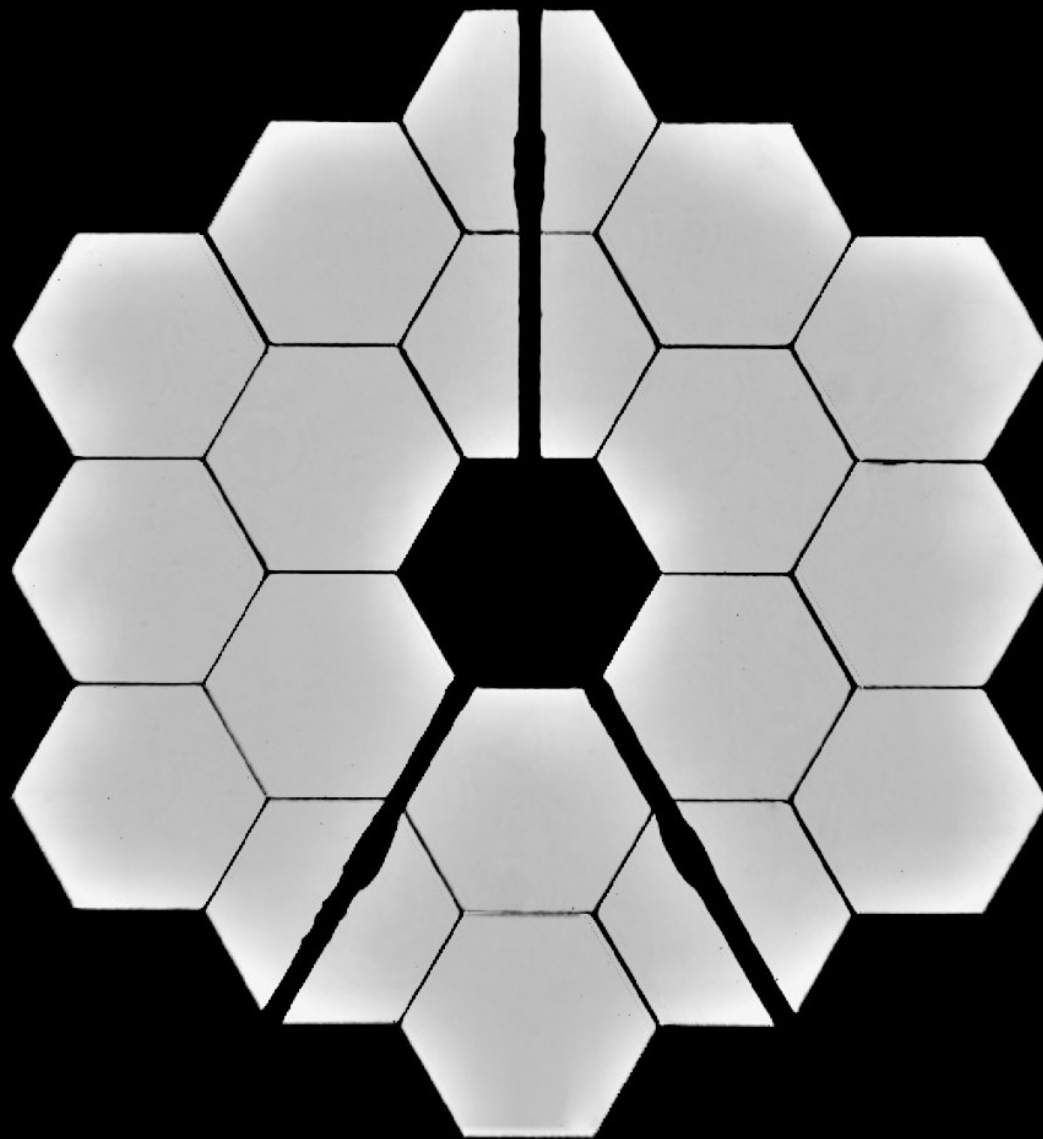


Premiers Photons !...

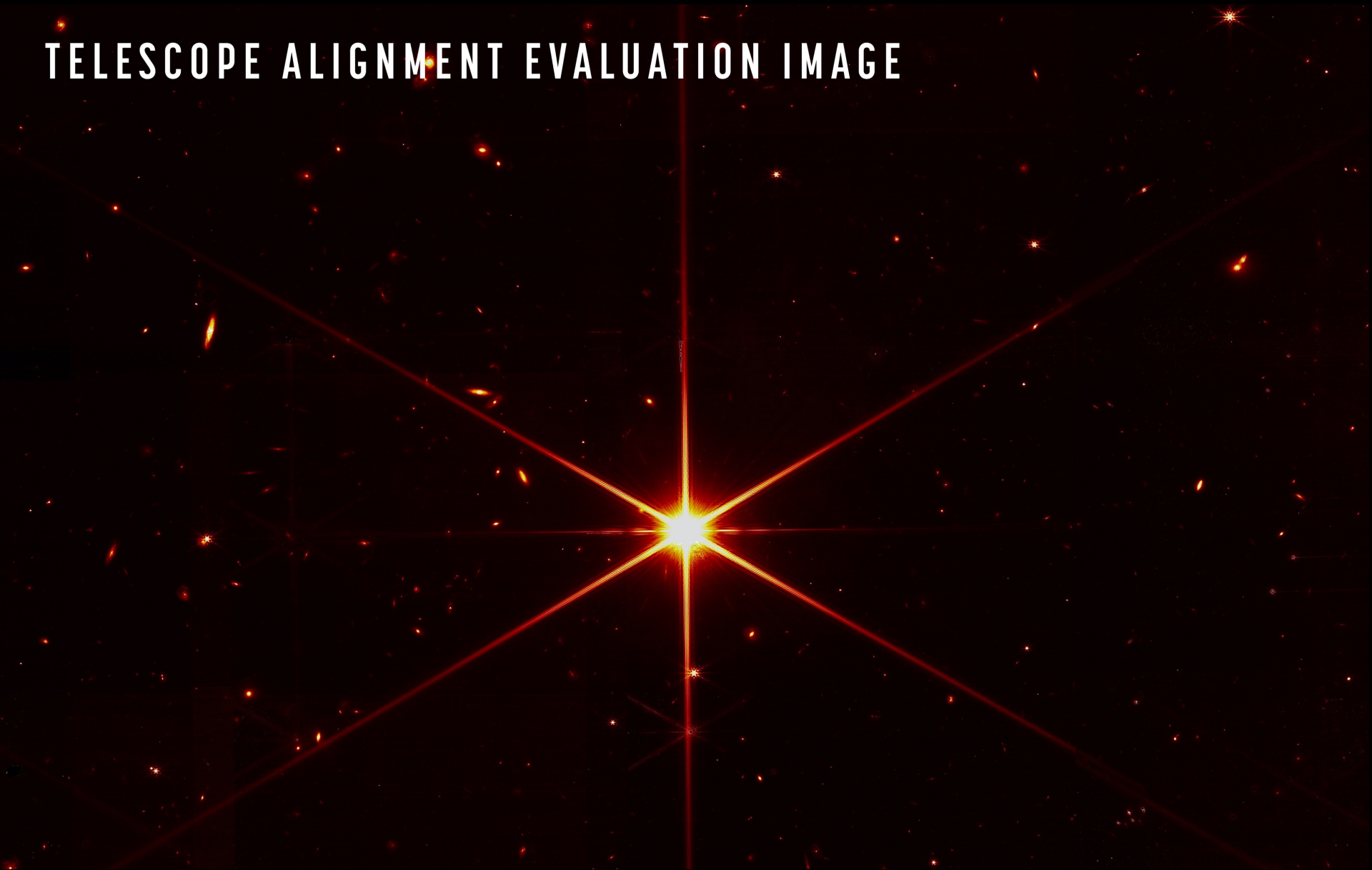
04-02-2022

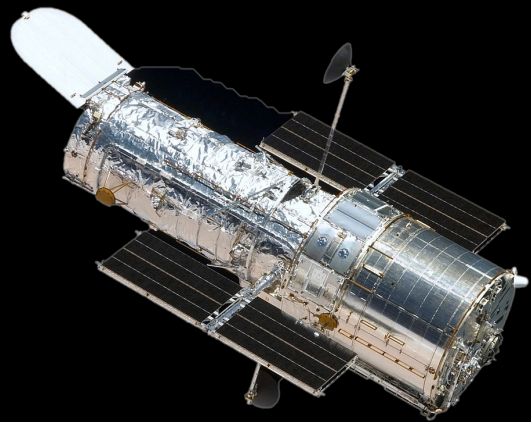


# NIRCAM ALIGNMENT SELFIE



# TELESCOPE ALIGNMENT EVALUATION IMAGE





**HST**



Hubble

2,4 m

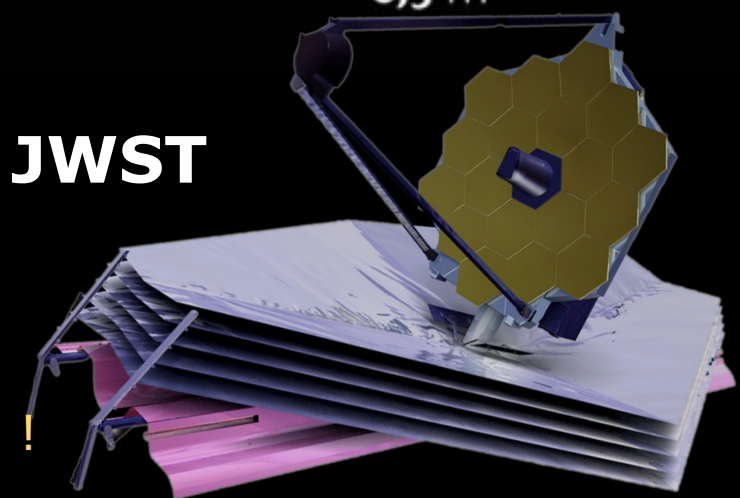


6,5 m

x7 en surface et sensibilité !



**Spitzer**  
85cm



**JWST**

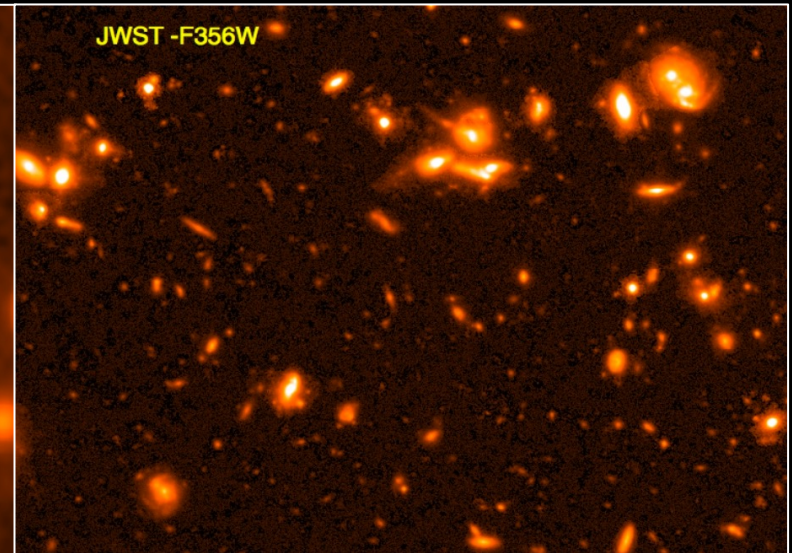
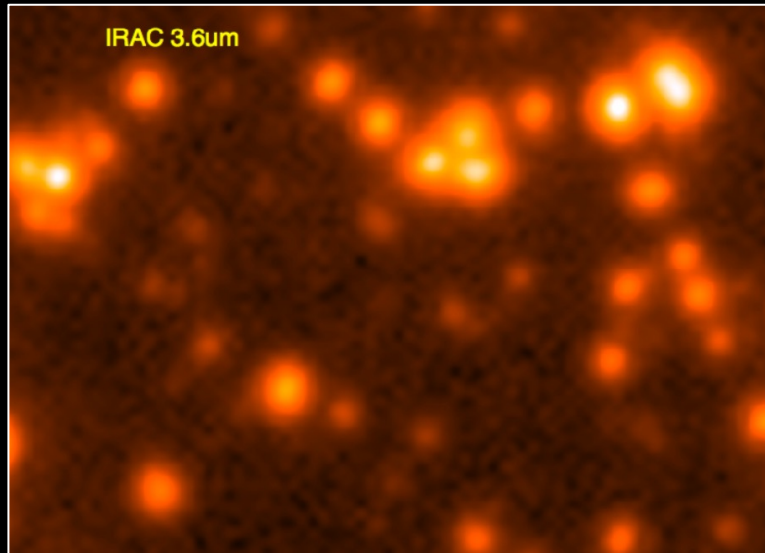
x50 en surface et sensibilité !



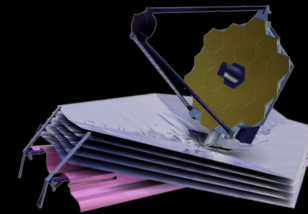
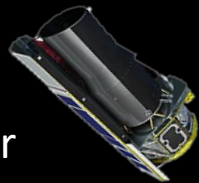
*Spitzer* IRAC 3.6  $\mu\text{m}$



Saut en résolution spatiale !



Spitzer  
85cm



JWST  
6,50m

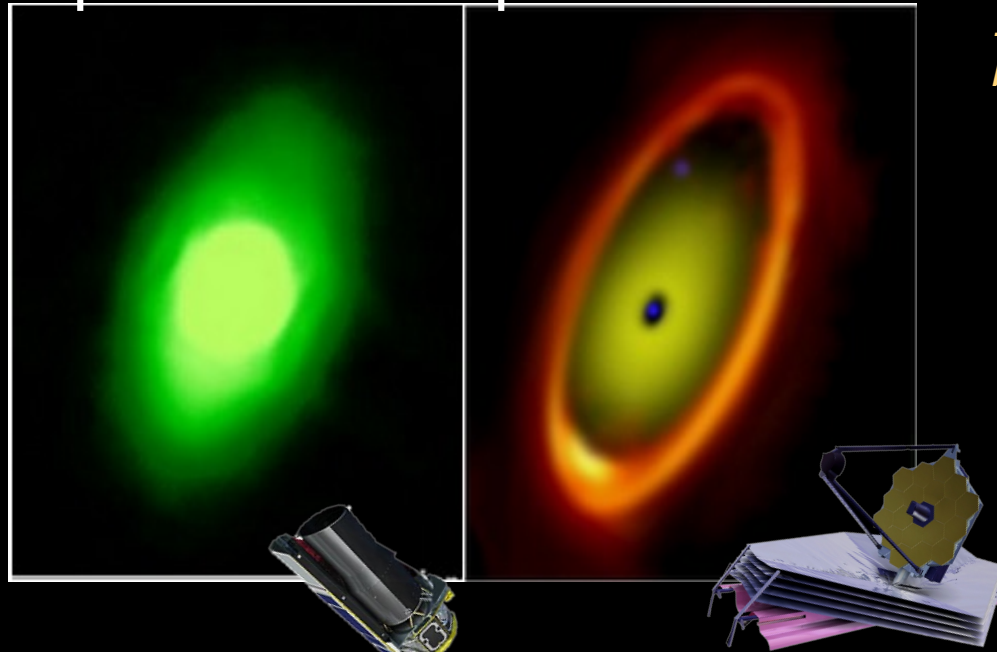
x50 en surface et sensibilité !

Saut en résolution spatiale !



Disque de poussière + planètes naissantes à  $24\mu\text{m}$

*17<sup>e</sup> étoile la plus brillante du ciel*



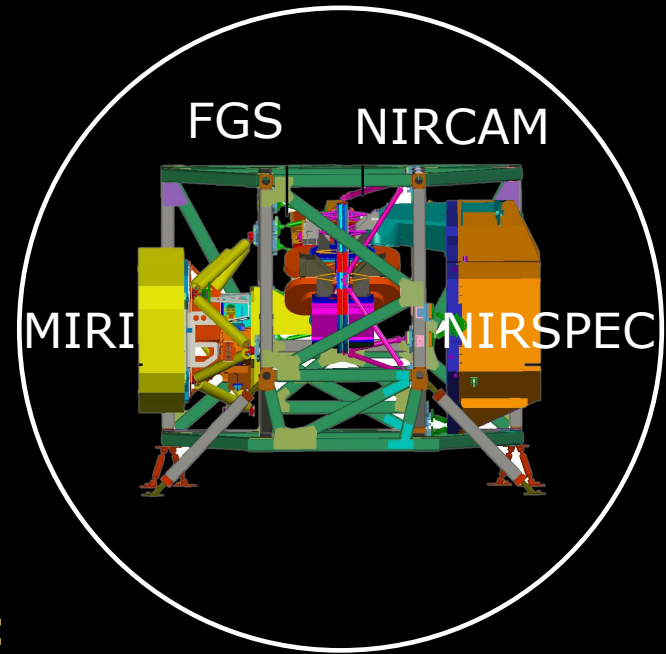
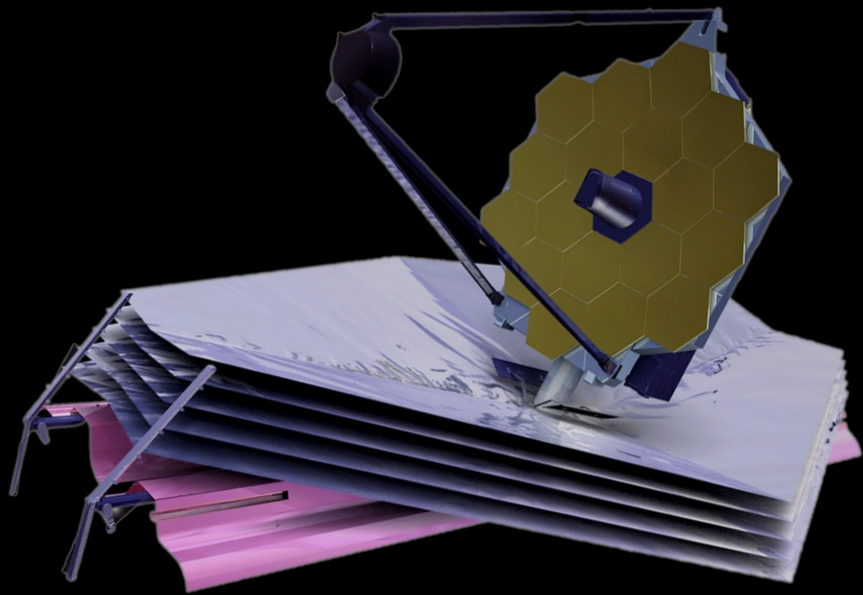
Spitzer/MIPS

JWST/MIRI

85cm

6,50m

x50 en surface et sensibilité !



### Défis technologiques :

1<sup>er</sup> miroir déployable dans l'espace & plus grand télescope dans l'espace

1<sup>er</sup> spectrographe multi-objets (MOS) dans l'espace = NIRSPEC

1<sup>er</sup> coronographe à masque de phase dans l'espace = MIRI

La contribution française : MIRIM, l'imageur de MIRI

## MIRI 50% Europe - 50% US

PI's G. Wright (ATC, UK) , G. Rieke (Arizona U., US)  
France : co-PI (P.O.Lagage)

2 parties principales

**un** spectro integral de champ  
un imageur MIRIm

MIRIm Sous l'égide du CNES

CEA Paris-Saclay:

DAP-AIM (maitrise d'œuvre),  
Irfu/DEDIP, DIS, DACM

Observatoire de Paris :

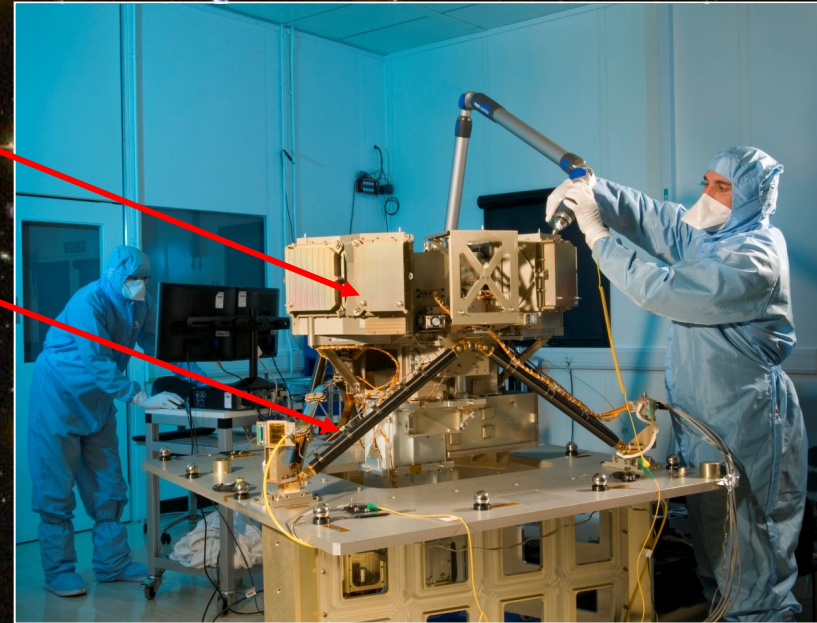
LESIA (coronographes)

Université Paris-Saclay:

IAS (banc de test)

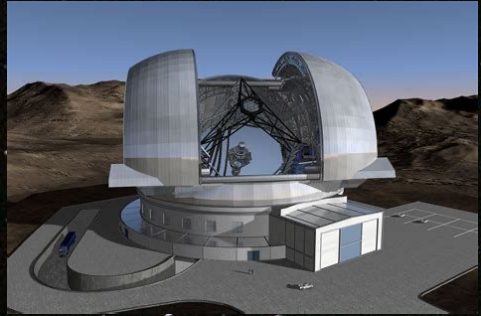
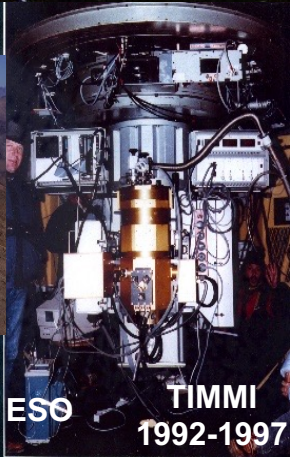
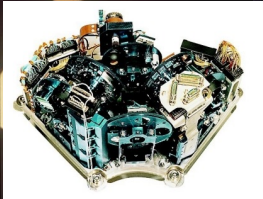
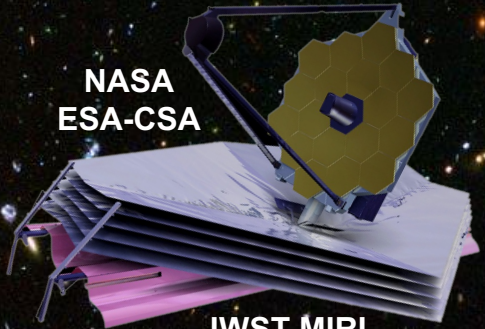
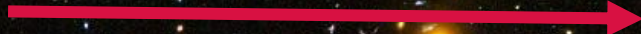
AMU :

LAM (Marseille)



Le CEA livre à l'équipe PI responsable de l'instrument (ATC Edimbourg), les instruments et/ou parties d'instrument acceptés par le CNES, conformément aux documents IID (Instrument Interface Documents). A ce titre, le CEA assume seul, vis à vis de l'ESA, la responsabilité de la performance des instruments développés.





# Observations du JWST



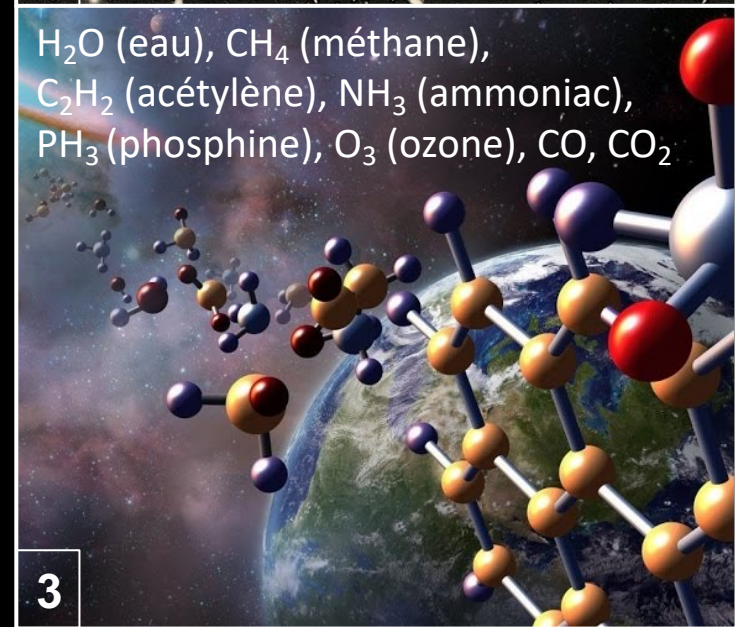
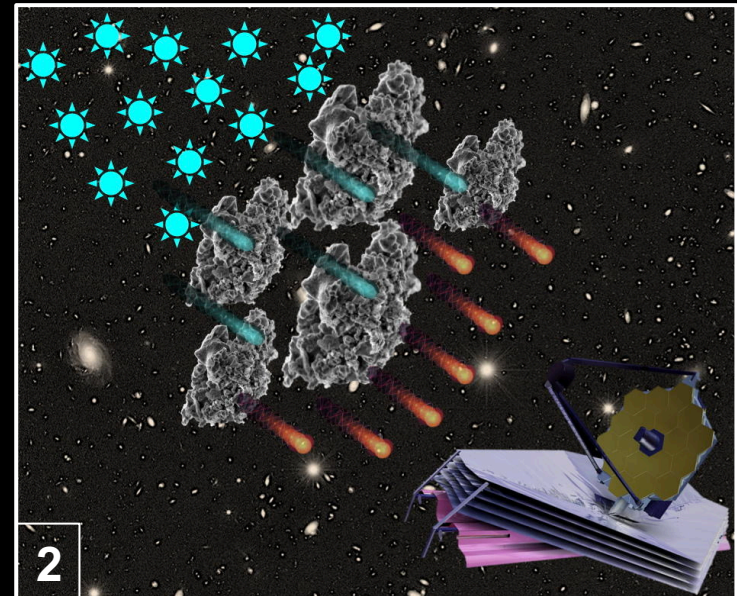
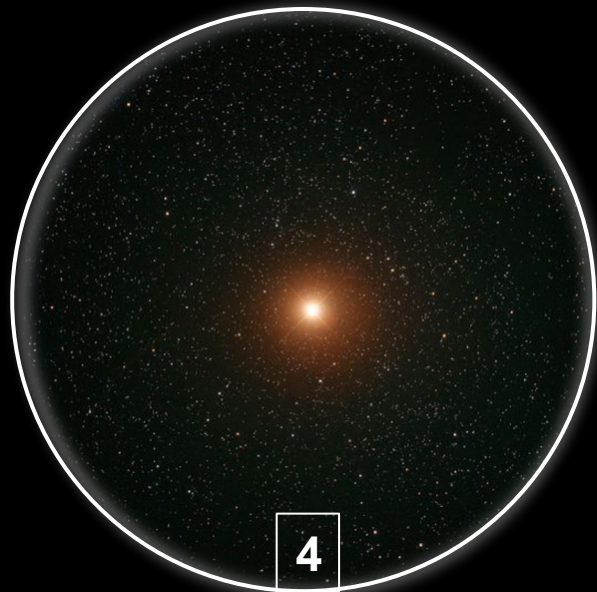
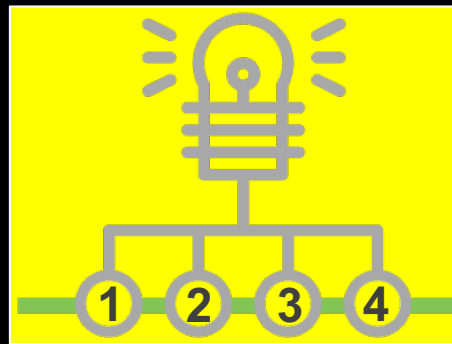
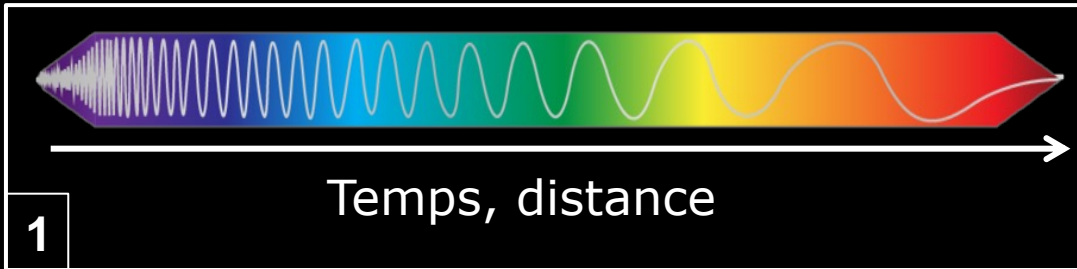
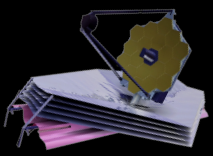
- Temps Garanti pour les **constructeurs** d'instruments :  
4020 heures sur 30 mois

## **Ouvert à la compétition :**

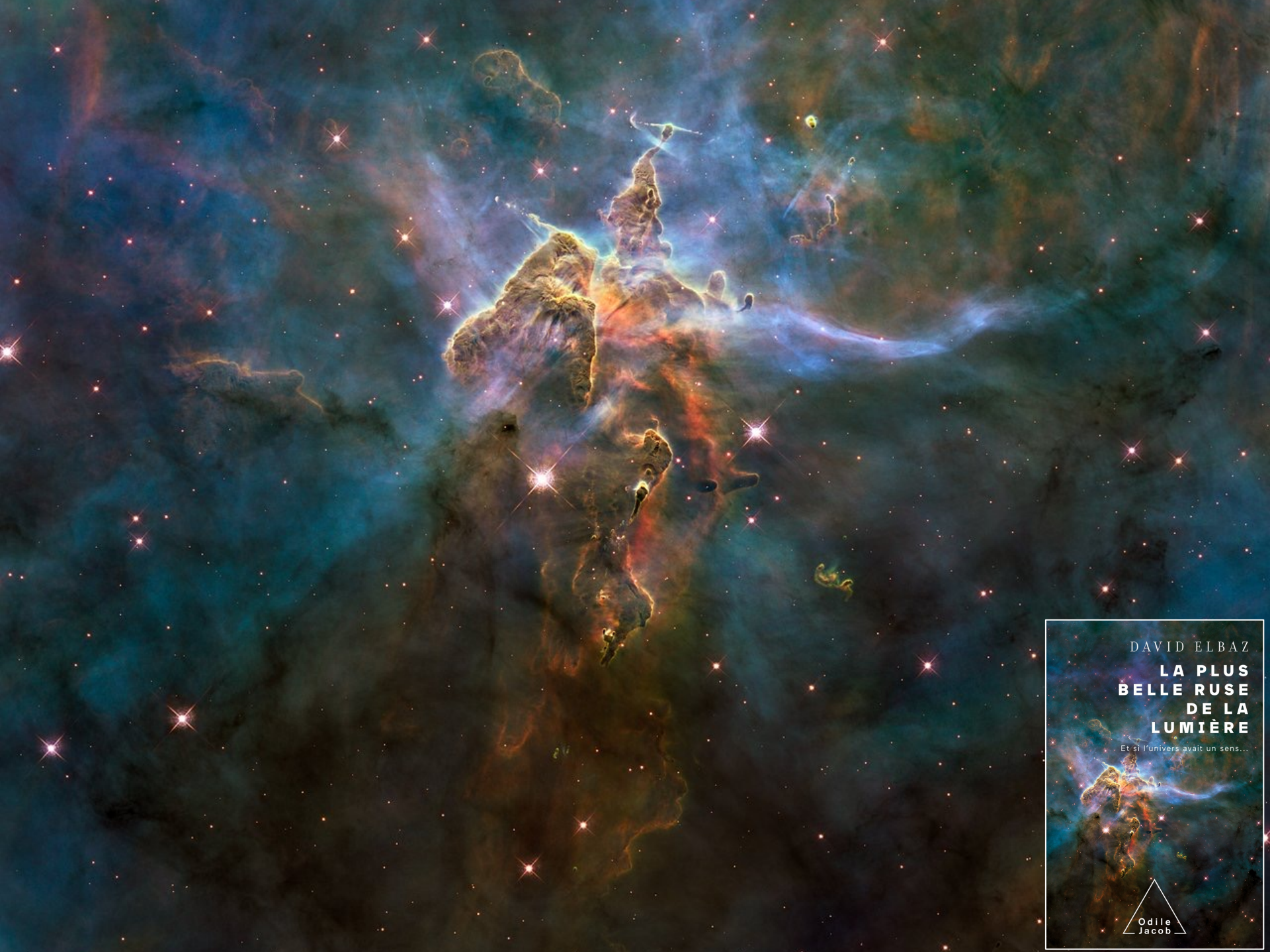
- Temps du Directeur : utilisé pour des **grands programmes rendus immédiatement publics** = Early Release Science (ERS)  
500 heures → premier cycle
- Temps Ouvert aux astronomes :  
80% du temps dont **15% minimum (MoU)** pour les européens  
→ lors du 1<sup>er</sup> appel : **30% du temps européen !**  
& 2 instruments les plus demandés **NIRSPec & MIRI**

# JWST :

## 4 raisons pour observer dans l'infrarouge





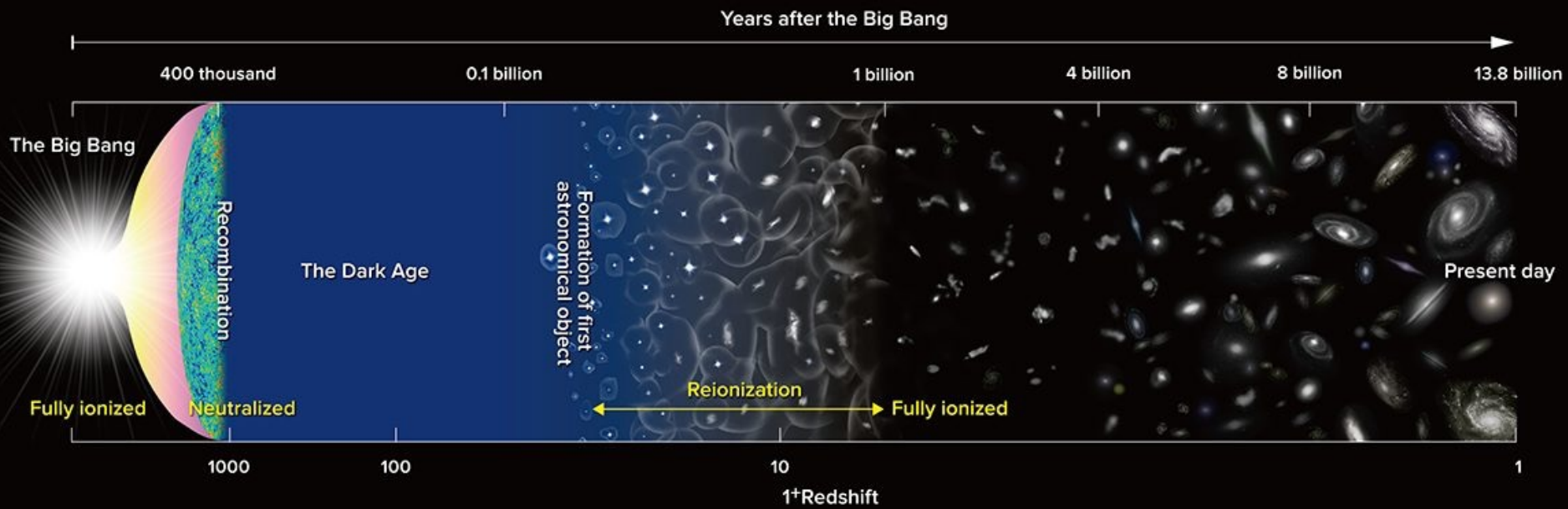
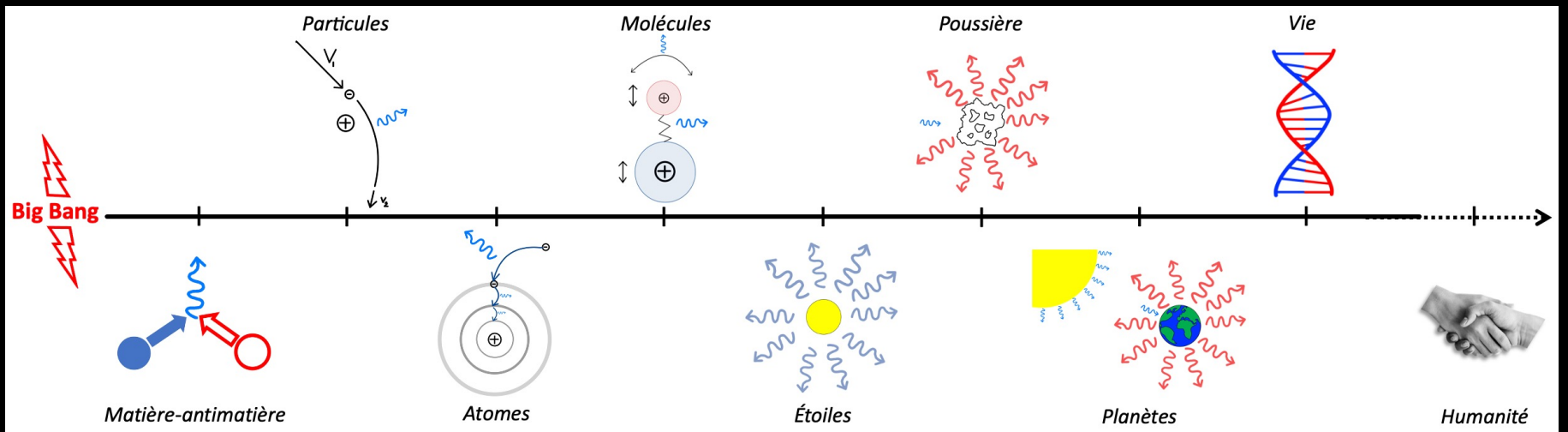


DAVID ELBAZ

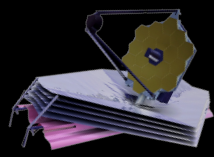
**LA PLUS  
BELLE RUSE  
DE LA  
LUMIÈRE**

Et si l'univers avait un sens...

Odile  
Jacob



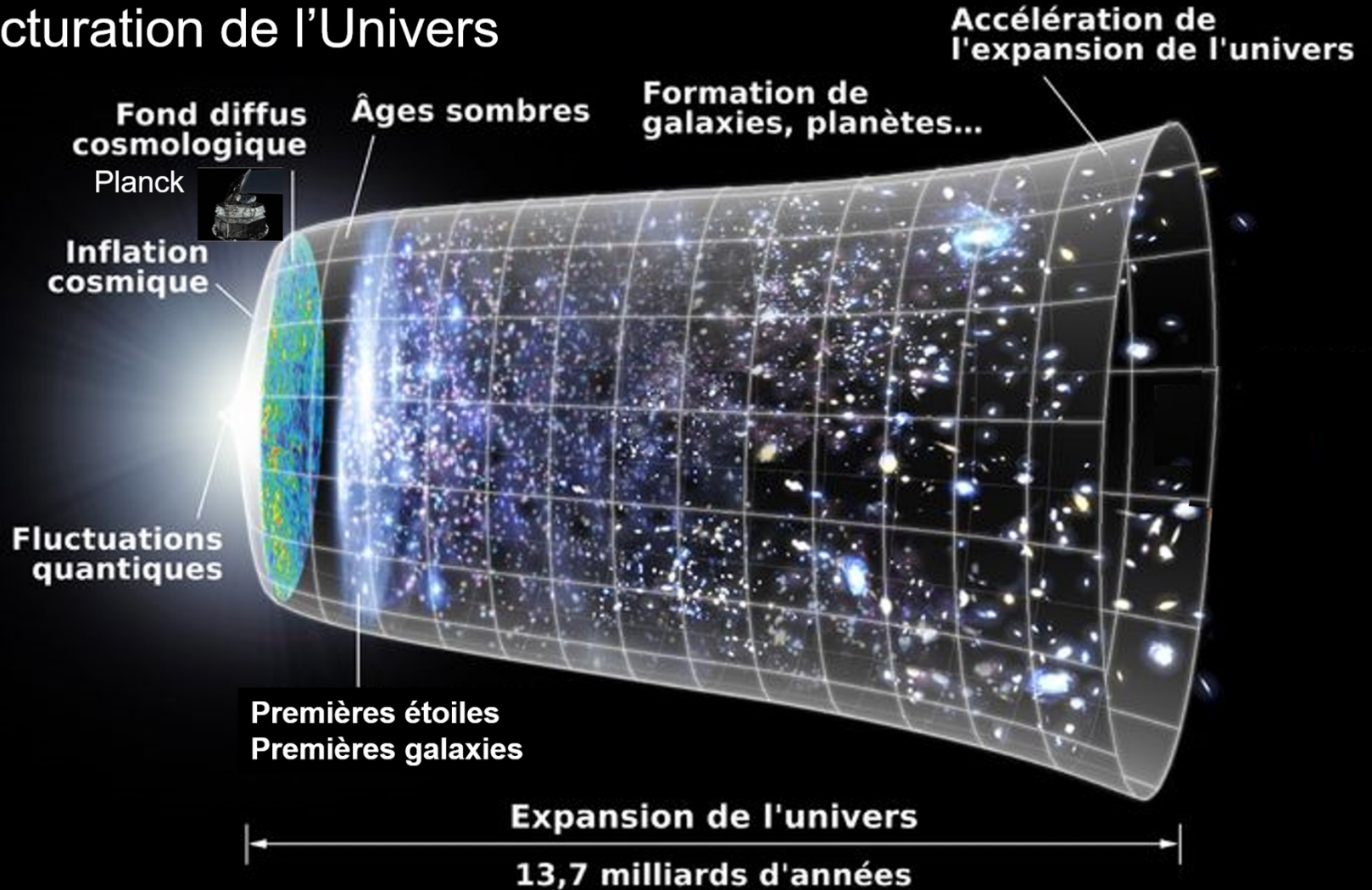
# 7 questions pour le JWST



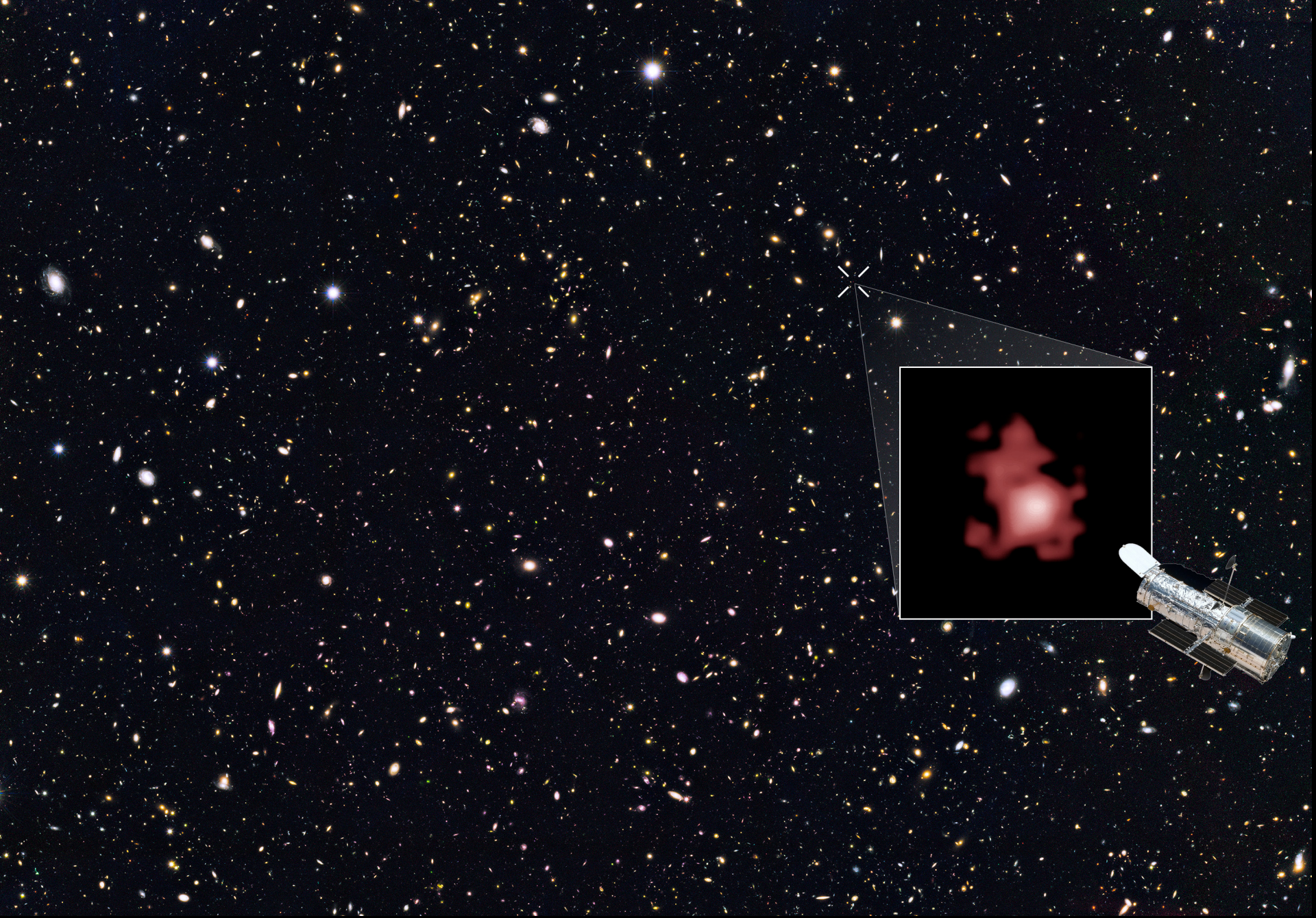
1. Comment/quand sont nées les premières sources de lumière de l'univers ?
2. Quelle est la cause de la « reionisation » de l'univers ?
3. D'où vient la forme des galaxies ?
4. Comment sont nées leurs étoiles ?
5. Qu'est-ce qui a tué les galaxies ?
6. Quelle est la composition des atmosphères des exoplanètes ?
7. La vie est-elle possible ailleurs dans l'univers ?

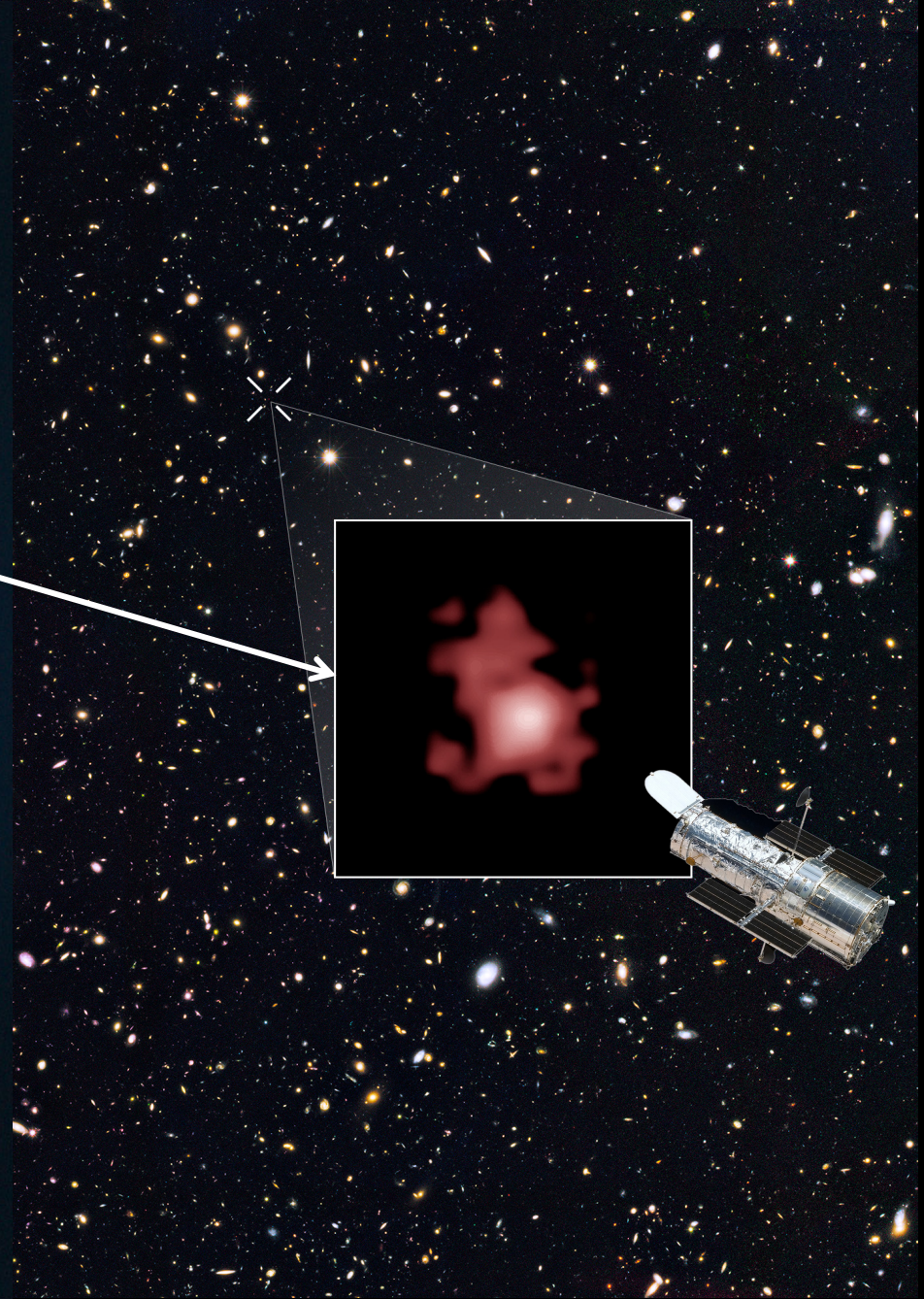
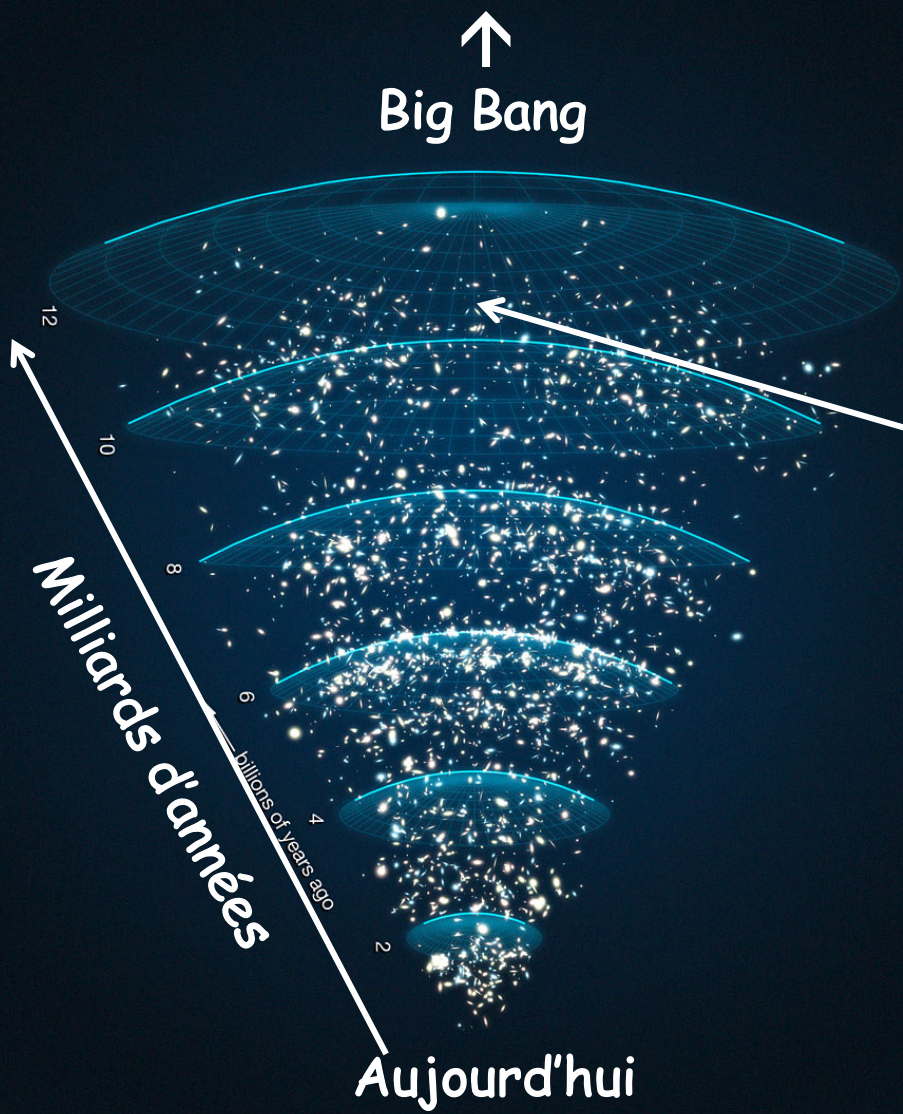
Comment/quand sont nées les premières sources de lumière de l'univers ?

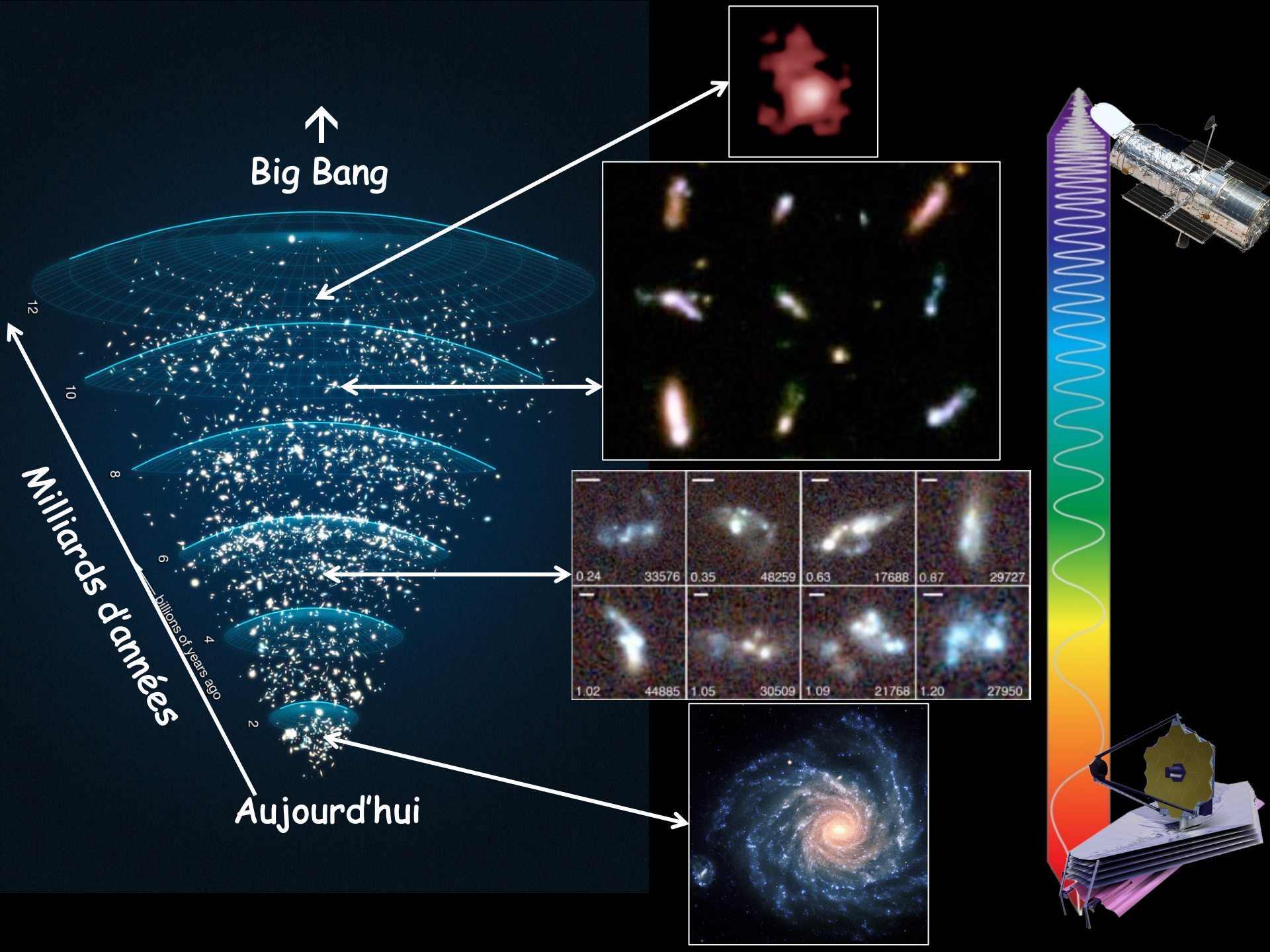
## Structuration de l'Univers



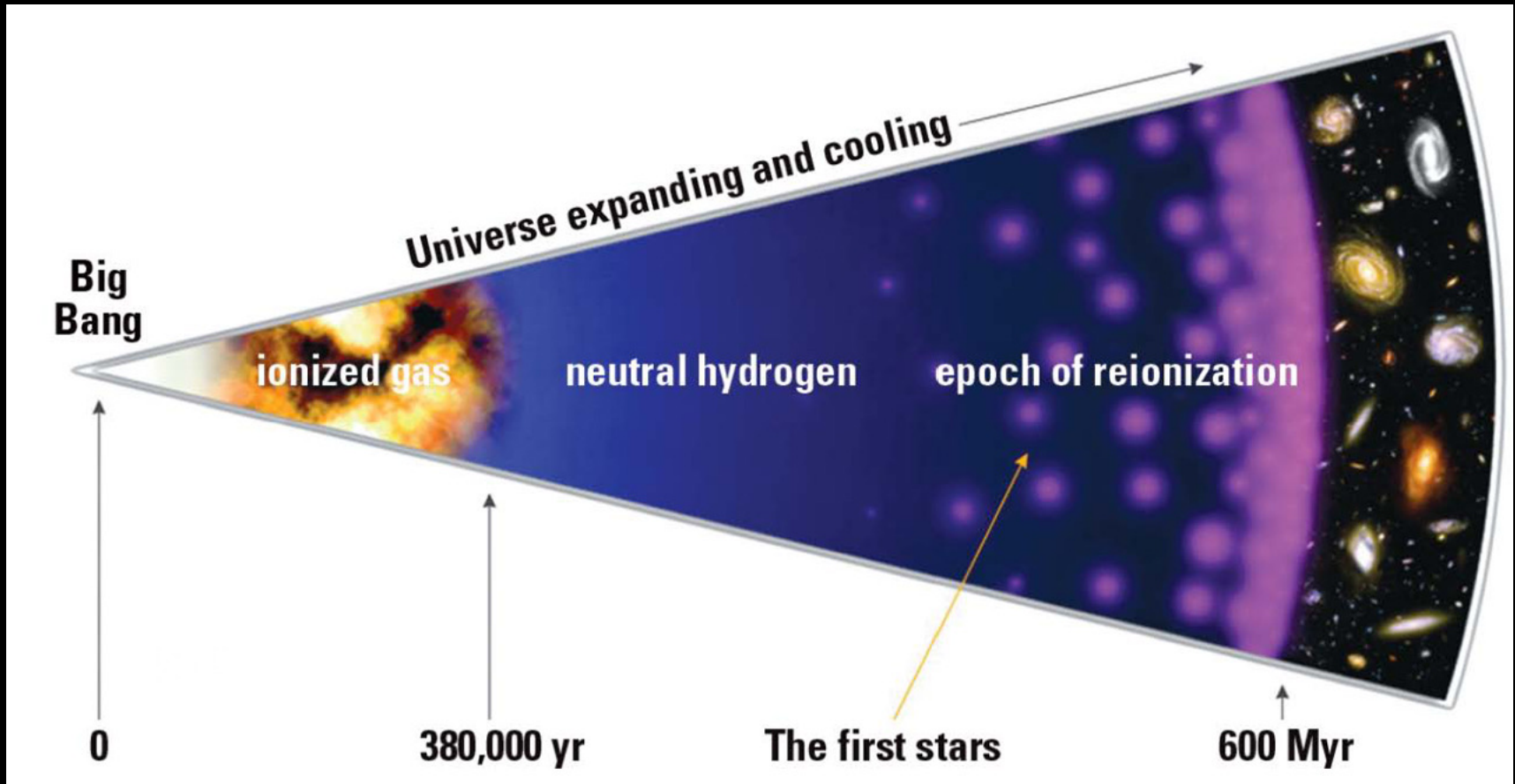








# Quelle est la cause de la « reionisation » de l'univers ?

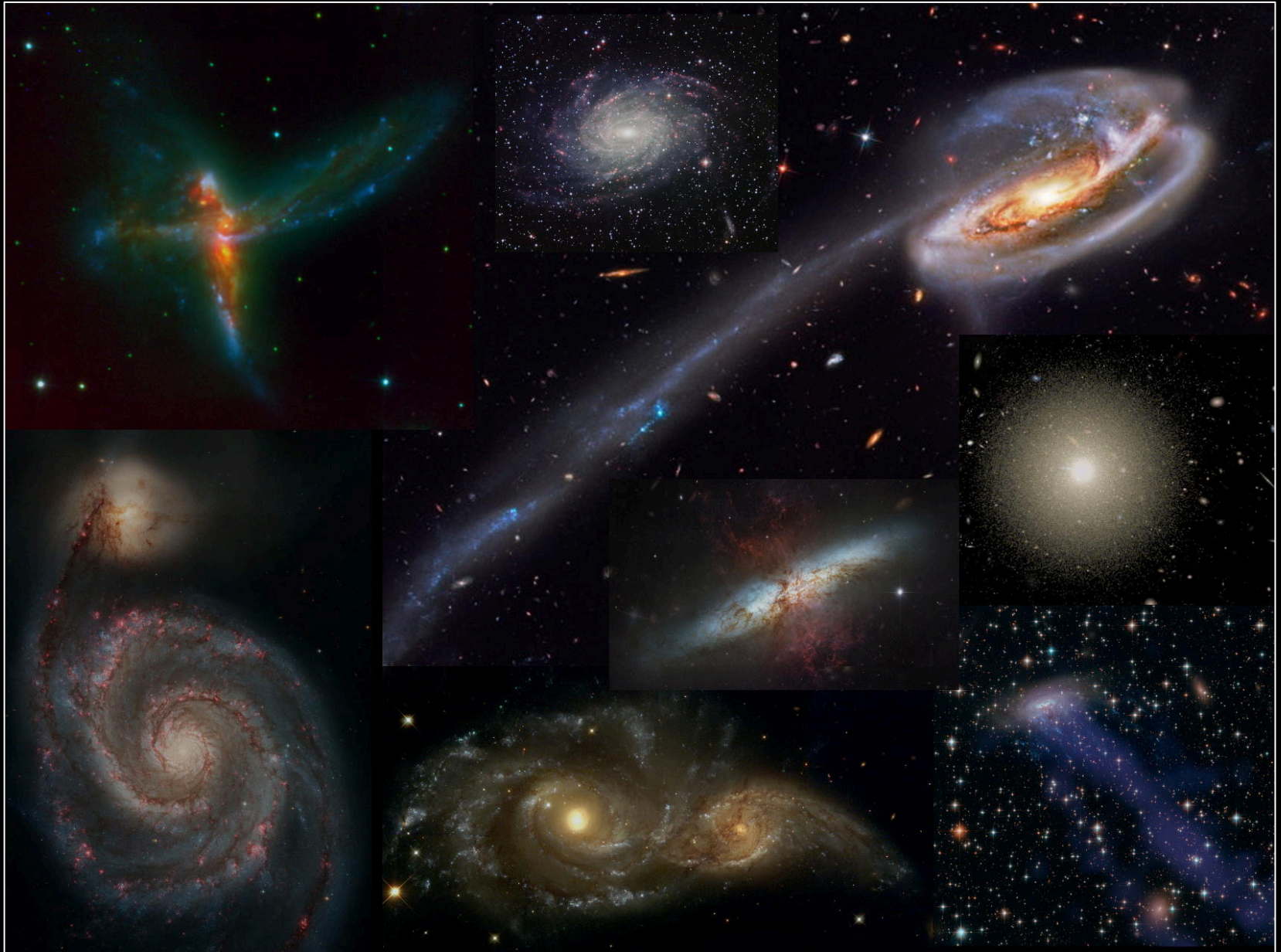


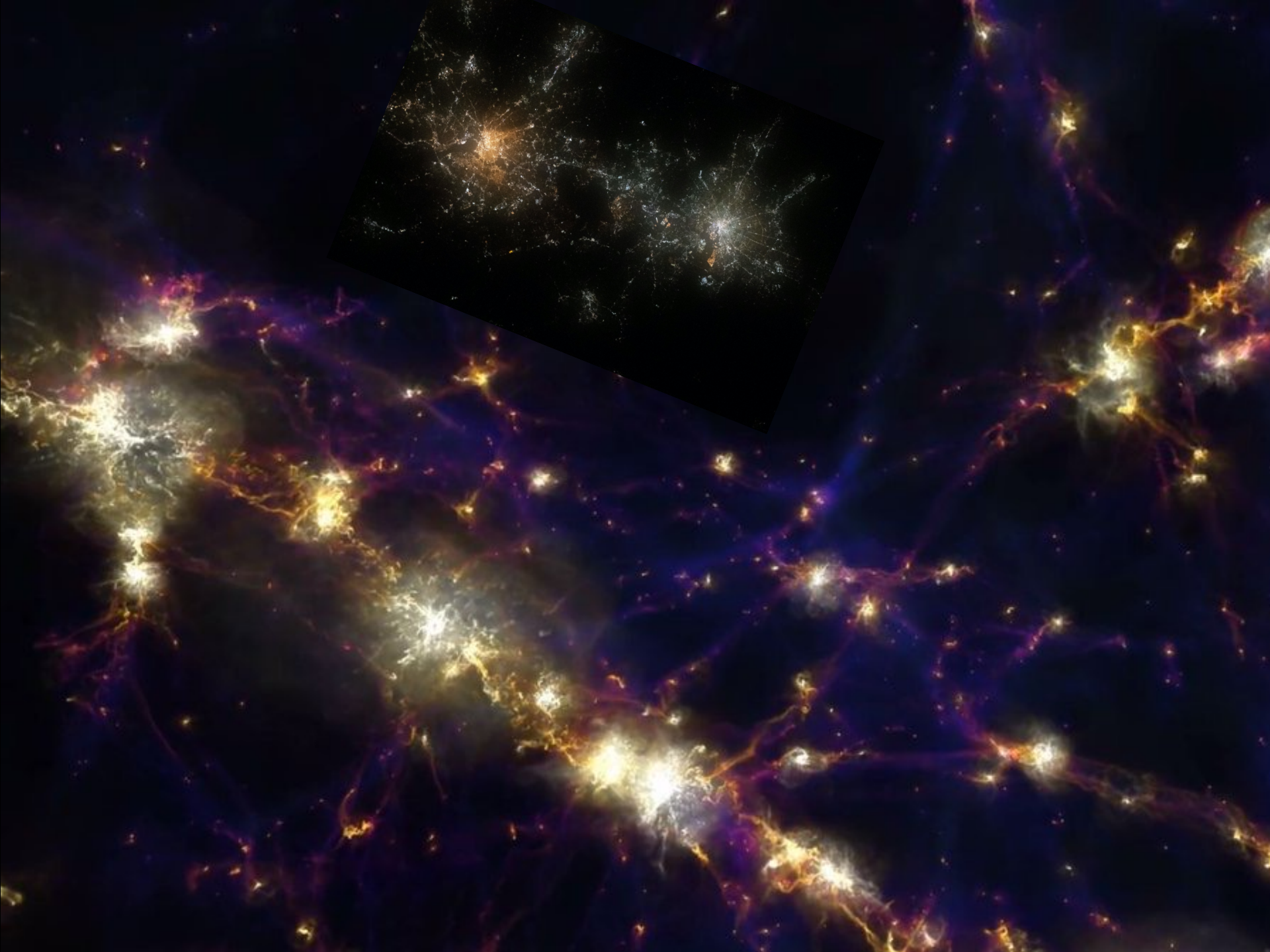
# THE SPHINX PROJECT

Cosmological radiation-hydrodynamical simulations of reionization

Boite de 15 millions d'années-lumière  
100 millions d'heures calcul CPU  
Rosdahl, Blaizot (CRAL) et al.

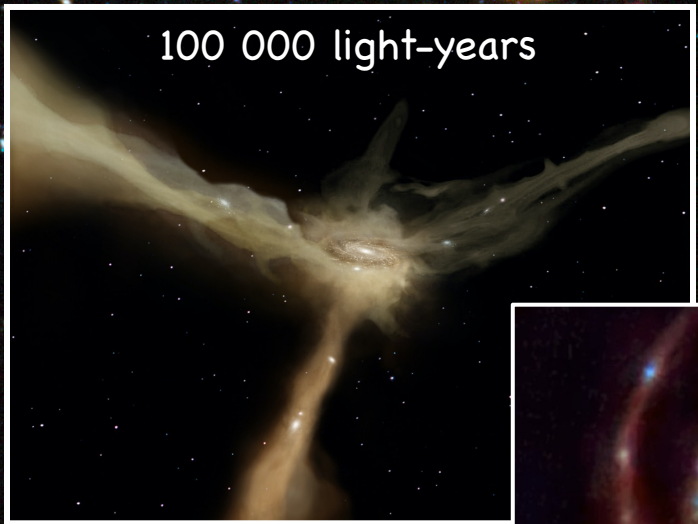
# D'où vient la forme des galaxies ?



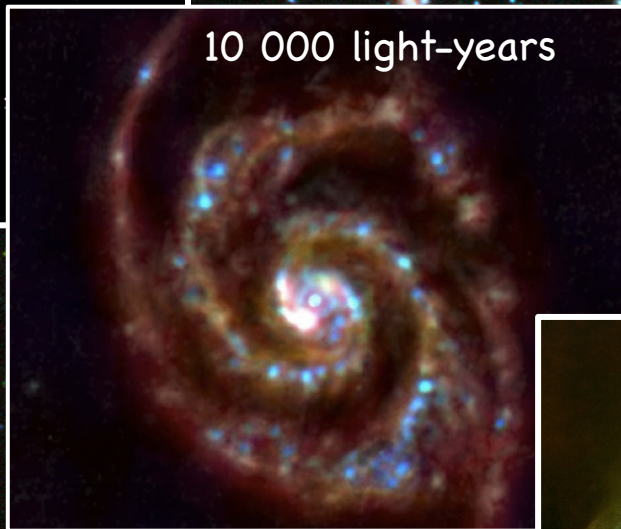


# Comment sont nées leurs étoiles ?

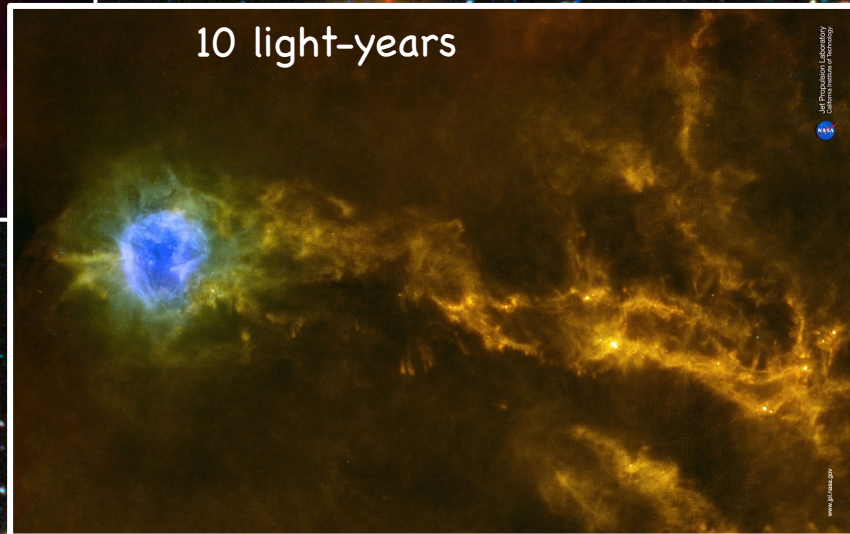
100 000 light-years



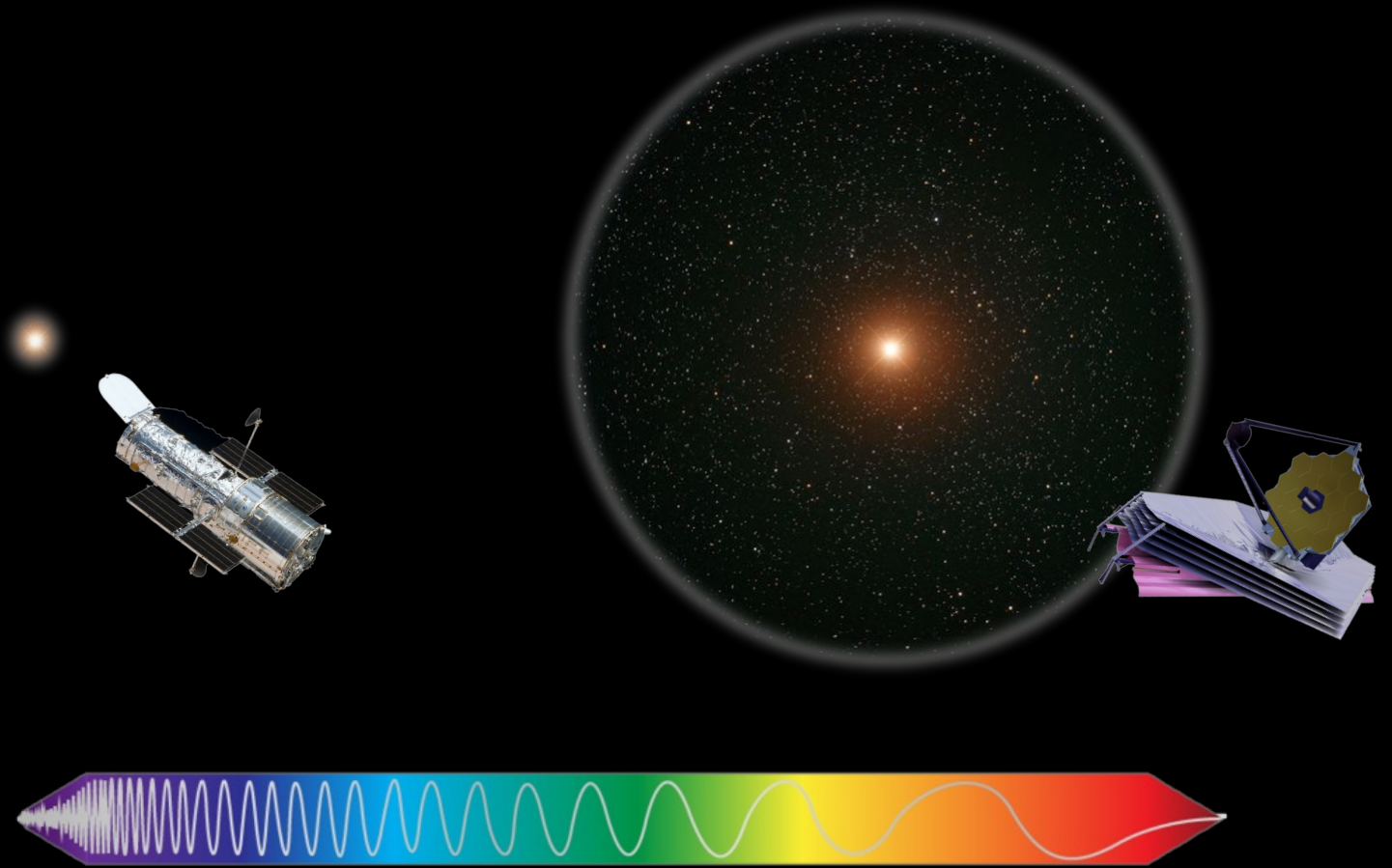
10 000 light-years



10 light-years



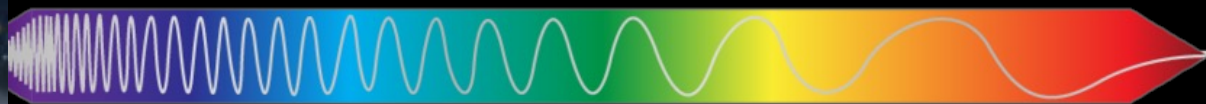
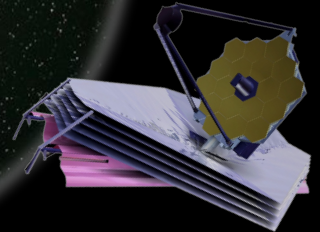
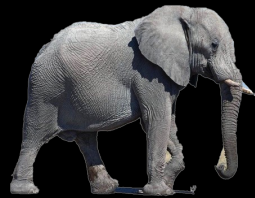




# Qu'est-ce qui a tué les galaxies ?



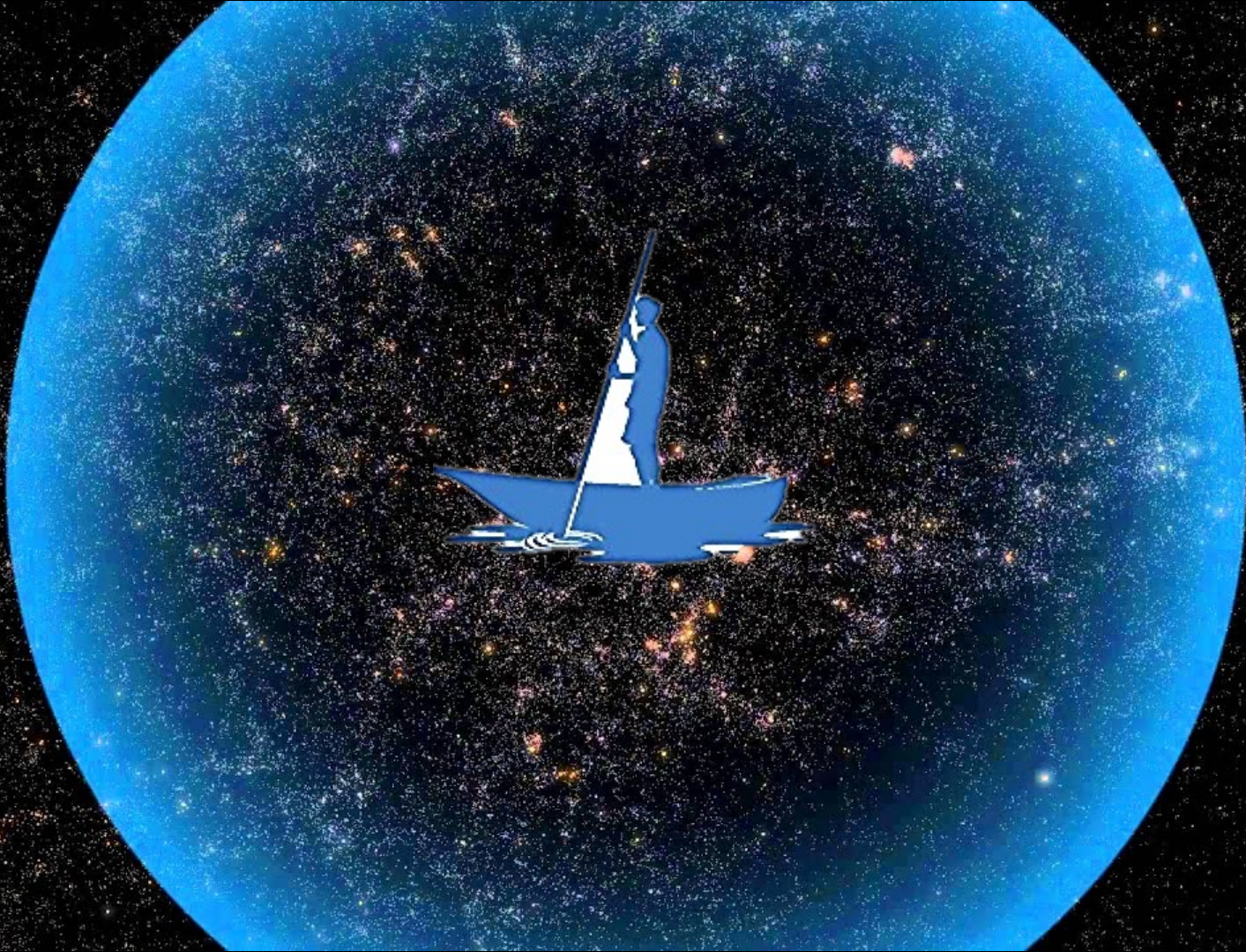
?



# 9474 naissances d'étoiles par seconde

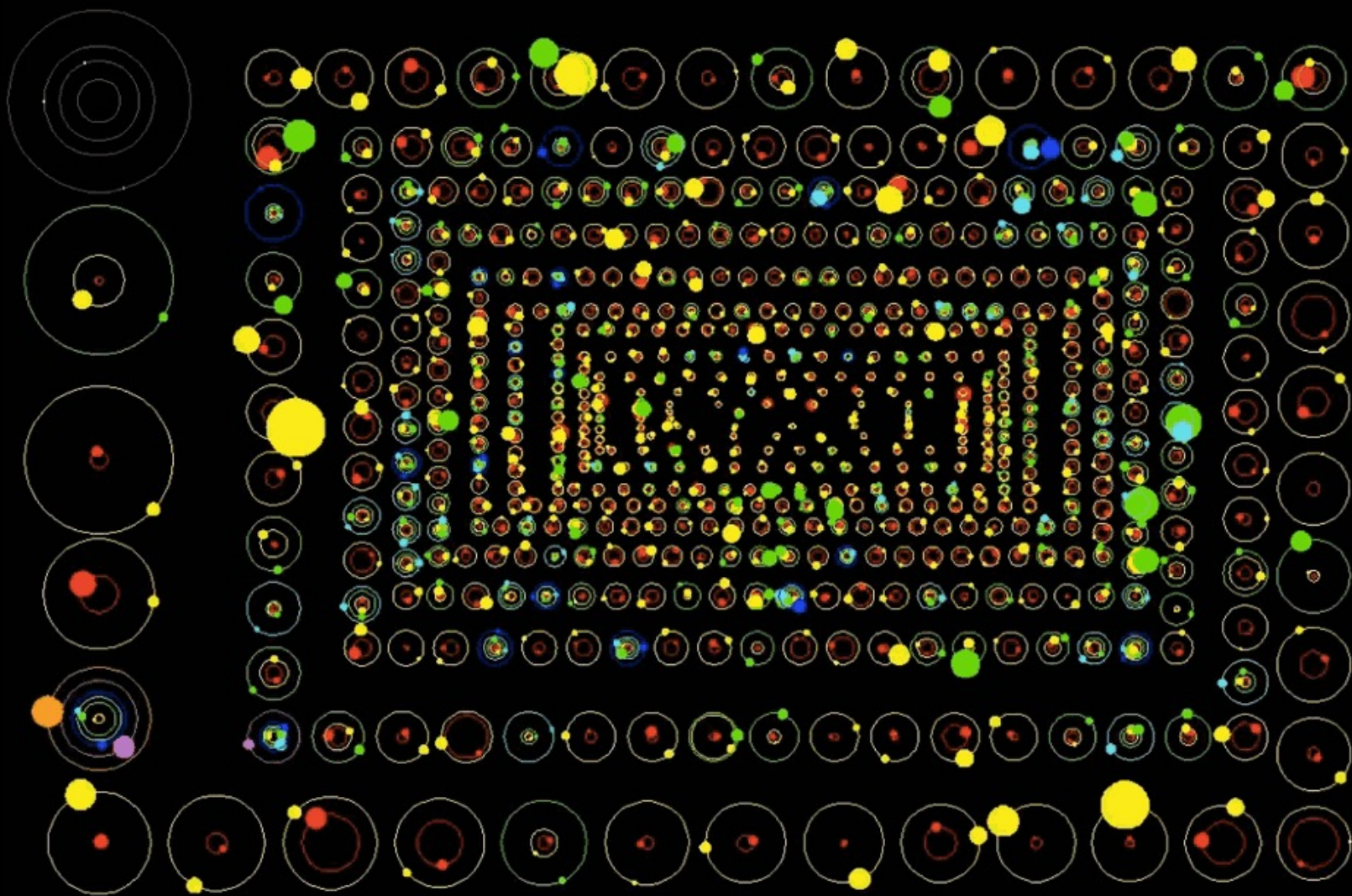
(masse typique = 0.57 x Soleil)

$0.015 M_{\text{sol}}/\text{an}/\text{Mpc}^3$



# The Kepler Orrery III

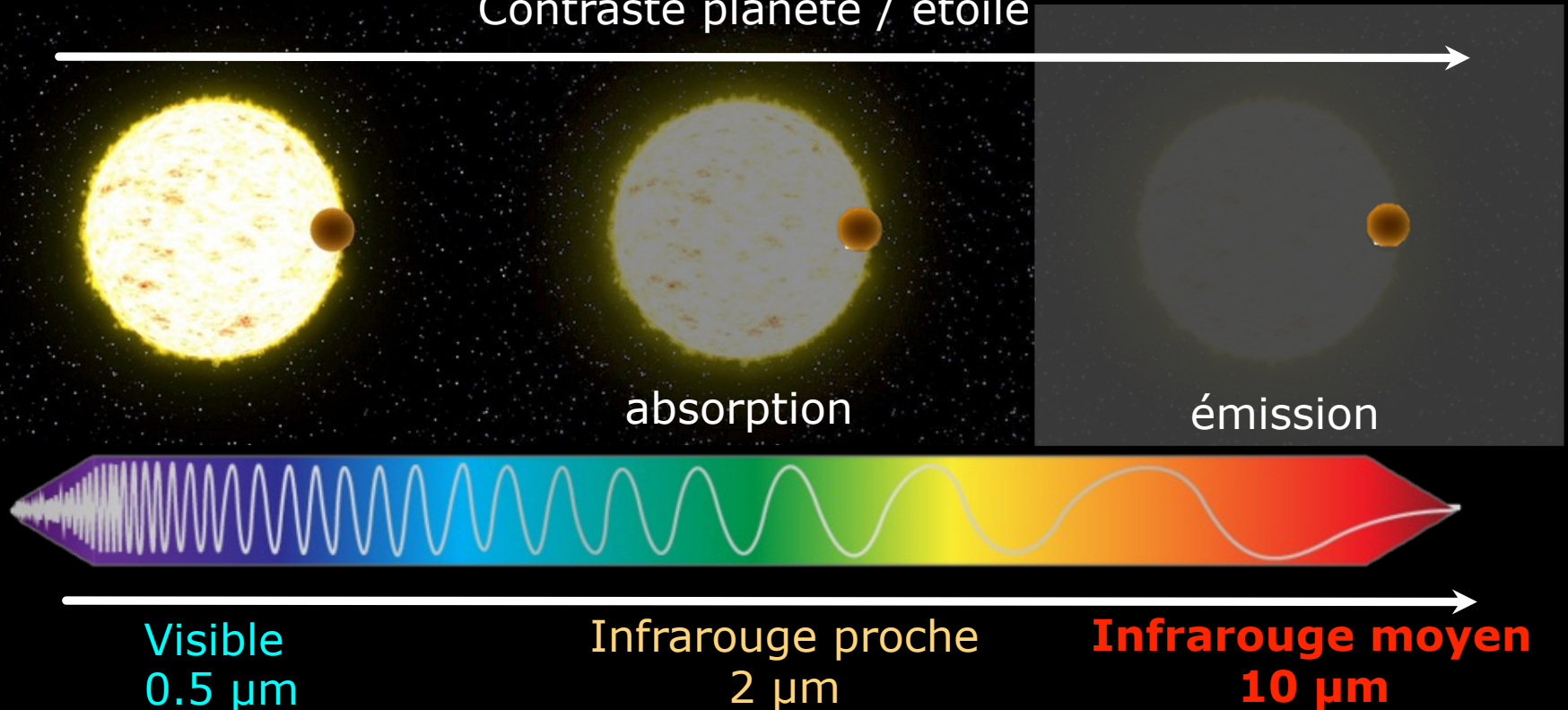
t[BJD] = 2455215



# Exoplanètes

Après un premier chapitre dédié à la détection et caractérisation en termes de masse et rayon, on est entrés dans le deuxième chapitre : la caractérisation de leur atmosphère

Contraste planète / étoile



# Transiting Planets

## Secondary Eclipse

See thermal radiation and reflected light from planet disappear and reappear

## Orbital Phase Variations

See cyclical variations in brightness of planet

**Transit**  
See stellar flux decrease  
(function of wavelength)

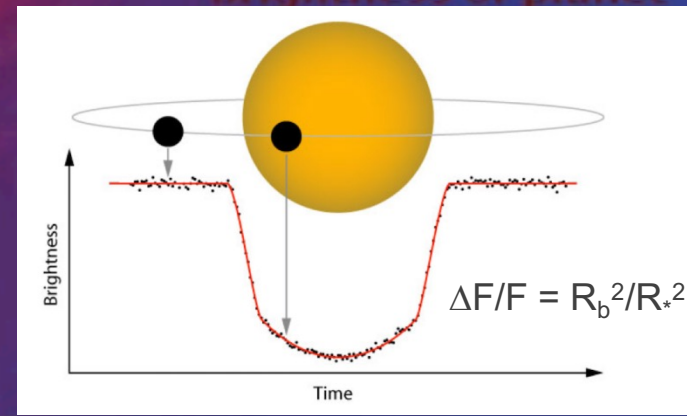
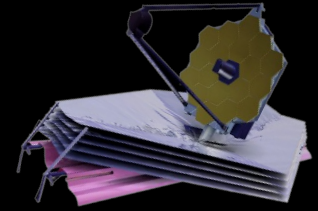


figure taken from H. Knutson

# Trappist1 b



## TRAPPIST-1 System

meilleure opportunité actuelle pour étudier des exoplanètes de "masse terrestre"



Naine rouge ultra-froide, 40 années-lumière de la Terre

Transiting Planets and Planetesimals Small Telescope

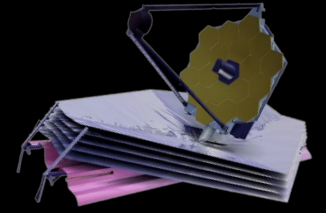


# Planète de lave K2-141b



Terre primitive ?





Planète sans atmosphère LHS3844b  
→ Émission des roches en surface  
(Kreiberg et al.)

# Les principales molécules que l'on rencontre dans l'atmosphère des exoplanètes ont des bandes caractéristiques en InfraRouge

Molecule	$\lambda$ ( $S_{max}$ ) 2-5 $\mu\text{m}$	$S_{max}$ $\text{cm}^{-2} \text{am}^{-1}$	$\lambda$ ( $S_{max}$ ) 5-16 $\mu\text{m}$	$S_{max}$ $\text{cm}^{-2} \text{am}^{-1}$
H <sub>2</sub> O	2.69 ( $\nu_1, \nu_3$ )	200	6.27 ( $\nu_2$ )	
HDO	3.67 ( $\nu_1, 2\nu_2$ )	270	7.13 ( $\nu_2$ )	
CH <sub>4</sub>	3.31 ( $\nu_3$ )	300	7.66 ( $\nu_4$ )	
CH <sub>3</sub> D	4.54 ( $\nu_2$ )	25	8.66 ( $\nu_6$ )	
NH <sub>3</sub>	2.90 ( $\nu_3$ )	13	10.33	
	3.00 ( $\nu_1$ )	20	10.72 ( $\nu_2$ )	
PH <sub>3</sub>	4.30 ( $\nu_1, \nu_3$ )	520	8.94 ( $\nu_4$ )	
			10.08 ( $\nu_2$ )	
CO	4.67 (1-0)	241		
CO <sub>2</sub>	4.25 ( $\nu_1$ )	4100	14.99 ( $\nu_2$ )	
HCN	3.02 ( $\nu_3$ )	240	14.04 ( $\nu_2$ )	
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	3.03 ( $\nu_3$ )	105	13.7 ( $\nu_5$ )	
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	3.35 ( $\nu_7$ )	538	12.16 ( $\nu_{12}$ )	
O <sub>3</sub>			9.60 ( $\nu_3$ )	

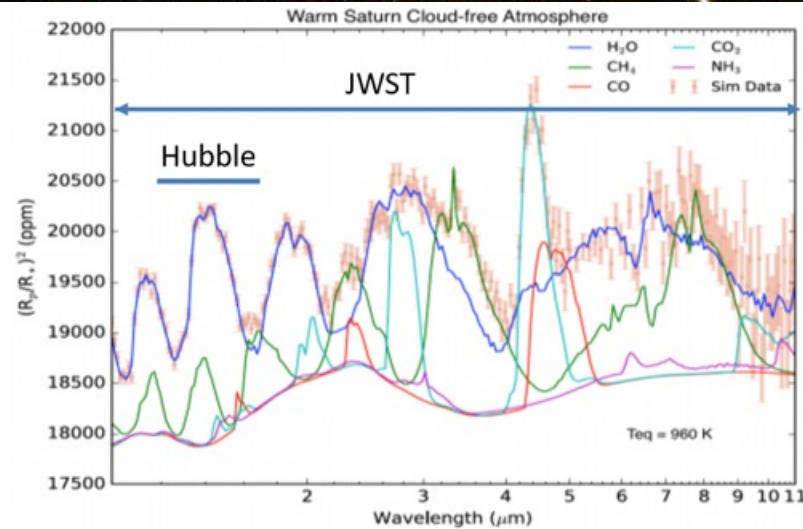
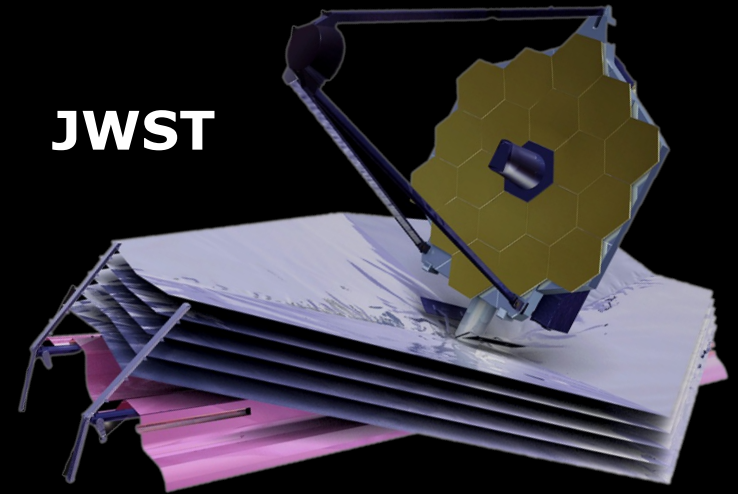
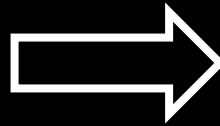
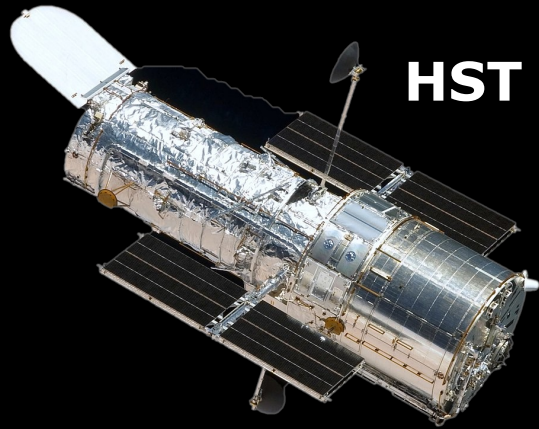


Figure 1 : Transit depth  $(R_p/R_s)^2$  expected for a warm Saturn Cloud free transiting in front of its host star (HATP-12) (Courtesy E. Schlavin). Comparison is made between the wavelength coverage of Hubble and Webb. Hubble is covering one H<sub>2</sub>O band and has allowed the detection of water in several exoplanet atmospheres (see for example Guilluy et al. 2021 and the references there-in.)

La large couverture en longueur d'onde du JWST (du visible à l'IR moyen) est unique et permet de sonder différentes couches de l'atmosphère

25 décembre 2021 : ~30 ans après le télescope spatial Hubble (24/4/1990)



Hubble a dévoilé la **forme des galaxies**,  
démonstré que les **trous noirs galactiques** sont omniprésents,  
affiné les mesures de l'**âge** et du **taux d'expansion de l'univers**,  
détecté la présence de **vapeur d'eau** autour d'**exoplanètes géantes**

Les découvertes les plus révolutionnaires du JWST seront peut-être celles qu'on attend le moins...