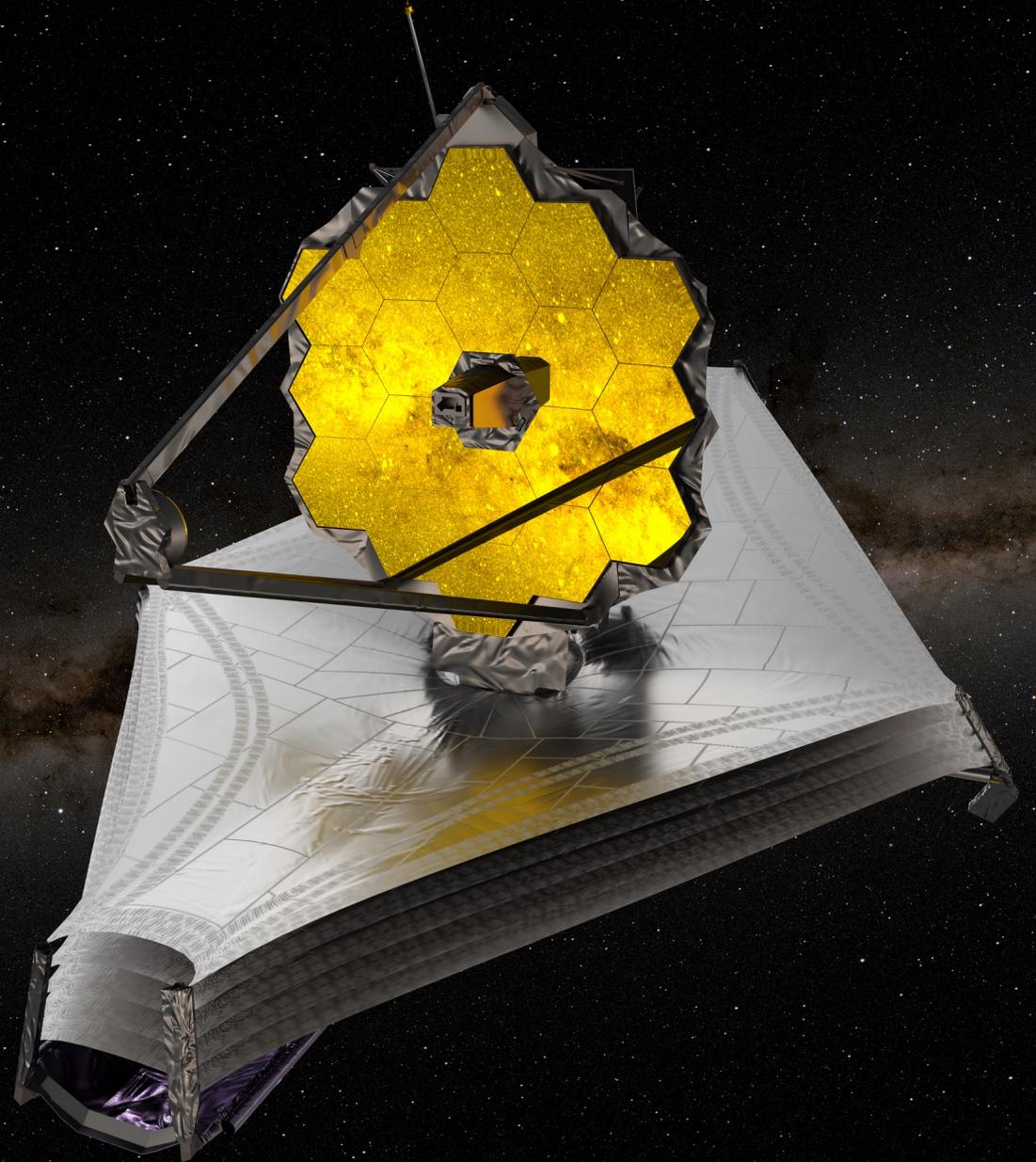




irfu

**Le télescope spatial  
James Webb :  
un nouveau regard sur  
l'Univers**

Benjamin Magnelli



# Le contexte Scientifique

---



# Le contexte Scientifique

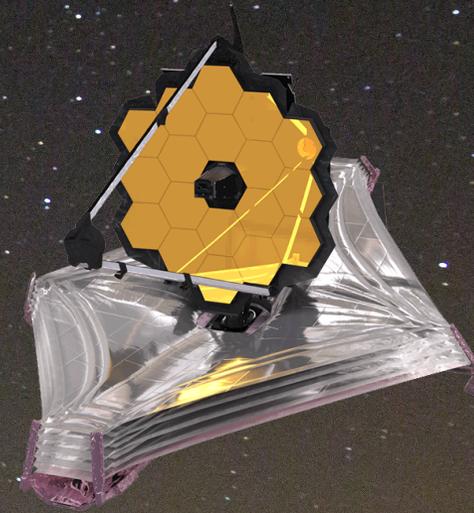


« La distance du fond invisible est si grande que sa lumière n'a pas eu le temps de nous parvenir »

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

# Le contexte Scientifique

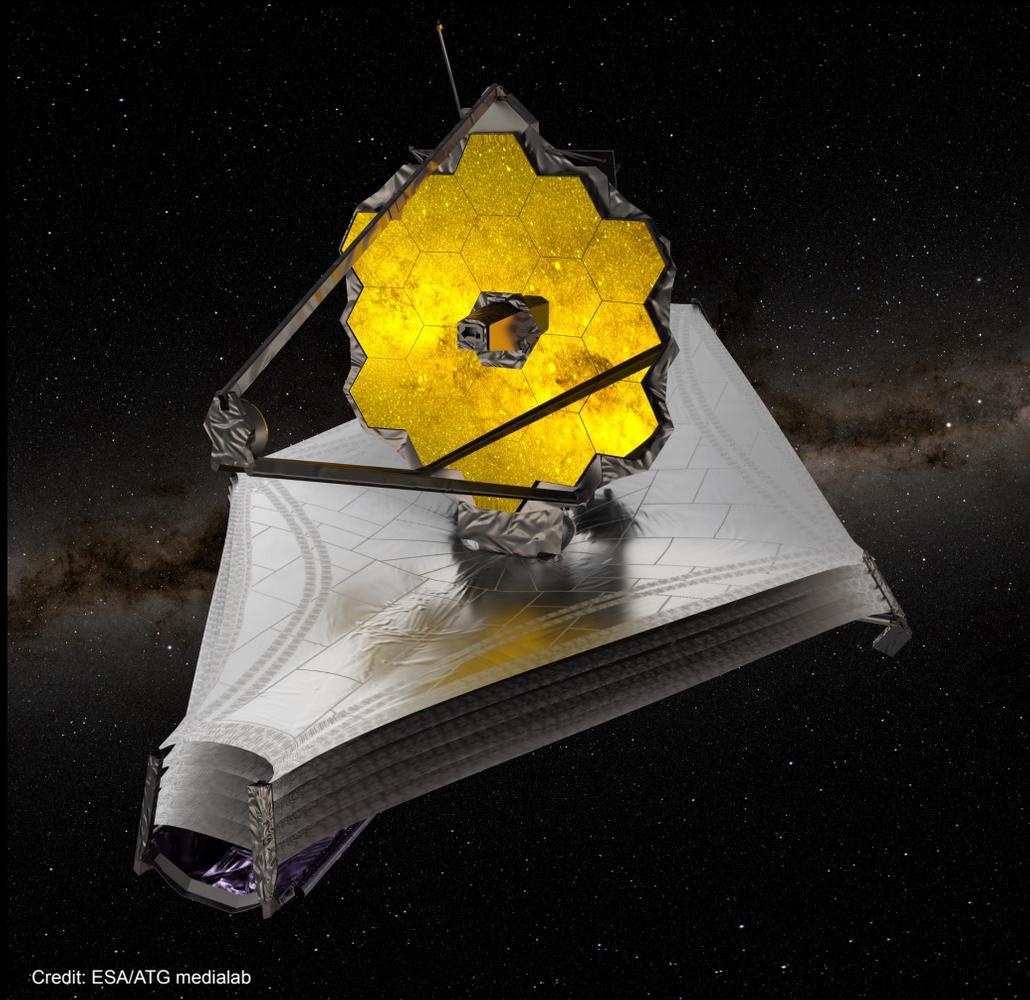
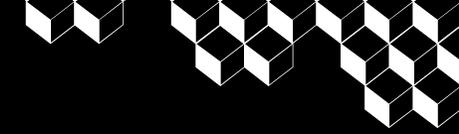
176 ans plus tard, l'humanité explore enfin l'aube de l'univers...  
...en quête de réponse à de nombreuses questions



« 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)*

# Le télescope spatial James Webb



Le James Webb, avec son miroir de 6 m, est le plus grand télescope spatial jamais lancé dans l'espace.

Il fonctionne dans l'infrarouge proche et moyen (longueurs d'onde allant de 0.6 à 28  $\mu\text{m}$ )

Il a été développé par la NASA avec la participation de l'Agence Spatiale Européenne et de l'Agence Spatiale Canadienne.

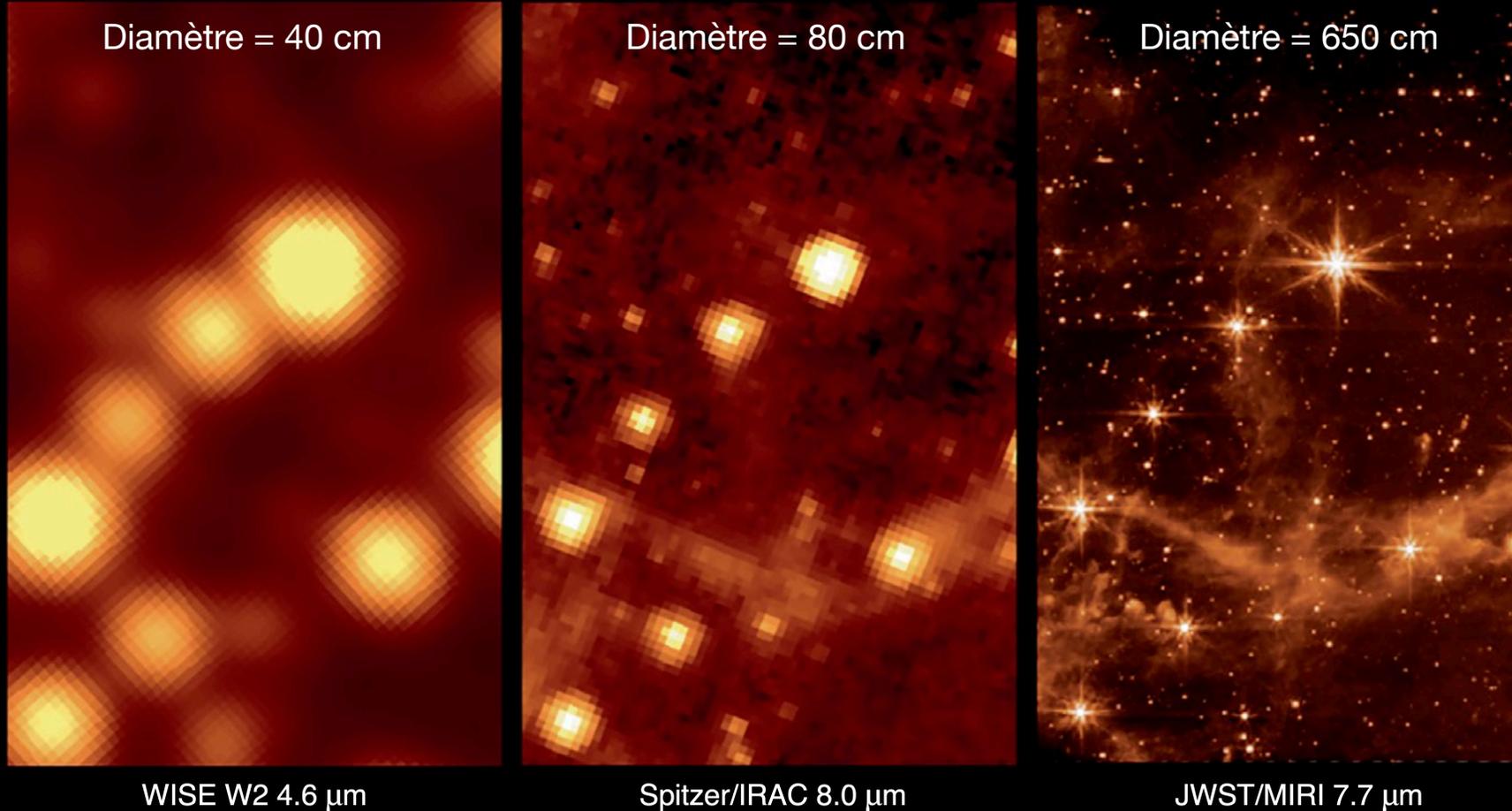
Credit: ESA/ATG medialab

# Un grand miroir de 6 m, pourquoi ?



# Un grand miroir de 6 m, pourquoi ?

Plus le télescope est grand, meilleure est sa résolution angulaire  
et meilleure est sa sensibilité !!



# Un télescope infrarouge, pourquoi ?

---



# Un télescope infrarouge, pourquoi ?

---

Les astrophysiciens prennent des photos des étoiles, du milieu interstellaire, des galaxies à différentes longueurs d'ondes. La lumière à ces différentes longueurs d'ondes est émise par des objets et/ou des processus physiques très différents. L'analyse d'un grand nombre d'images permet de comprendre le fonctionnement de l'Univers.

# Un télescope infrarouge, pourquoi ?

Les astrophysiciens prennent des photos des étoiles, du milieu interstellaire, des galaxies à différentes longueurs d'ondes. La lumière à ces différentes longueurs d'ondes est émise par des objets et/ou des processus physiques très différents. L'analyse d'un grand nombre d'images permet de comprendre le fonctionnement de l'Univers.



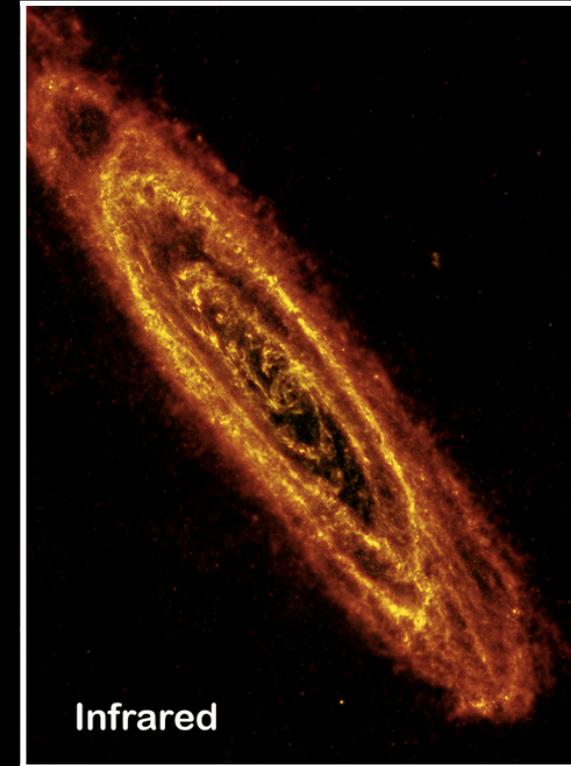
L'émission visible nous permet de connaître le nombre d'étoiles vieilles dans cette galaxie

# Un télescope infrarouge, pourquoi ?

Les astrophysiciens prennent des photos des étoiles, du milieu interstellaire, des galaxies à différentes longueurs d'ondes. La lumière à ces différentes longueurs d'ondes est émise par des objets et/ou des processus physiques très différents. L'analyse d'un grand nombre d'images permet de comprendre le fonctionnement de l'Univers.



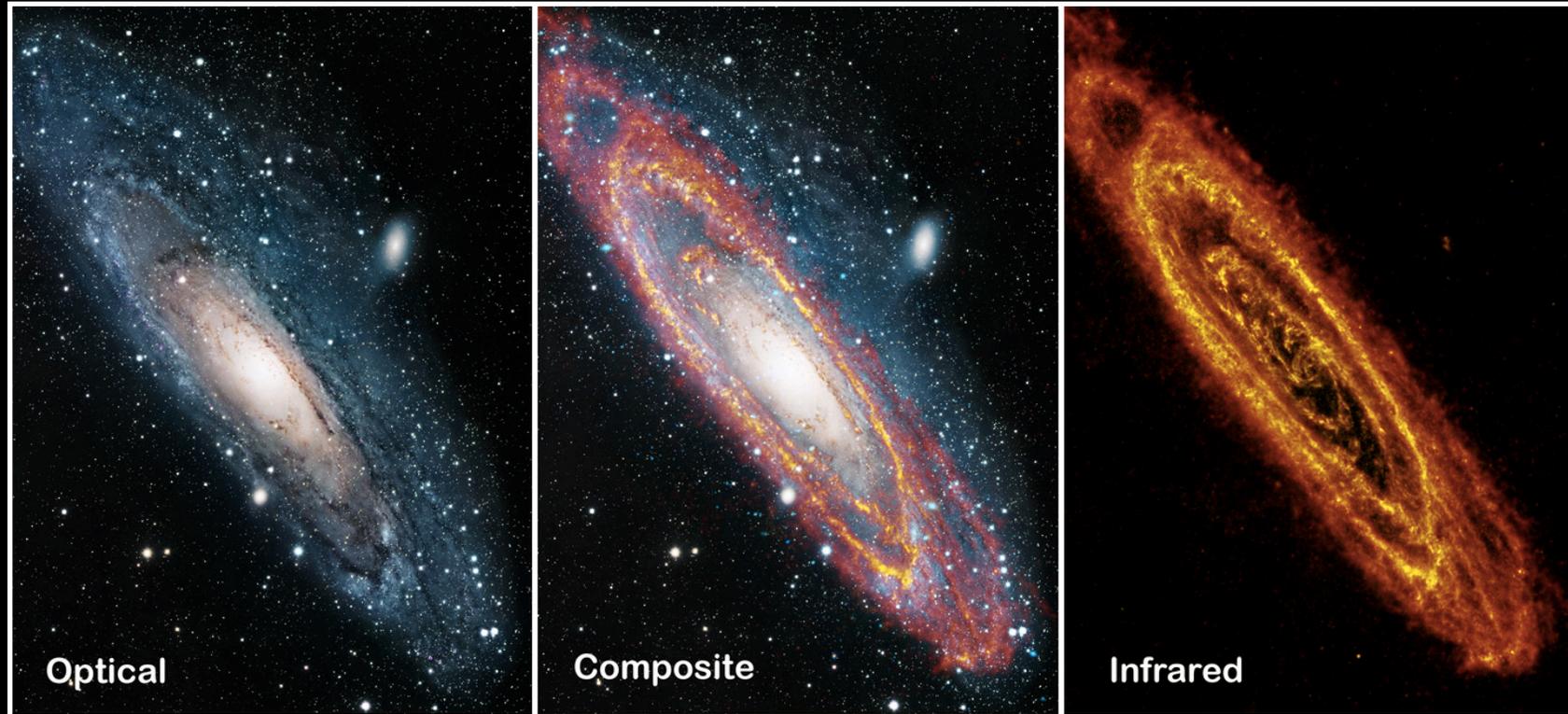
L'émission visible nous permet de connaître le nombre d'étoiles vieilles dans cette galaxie



L'émission infrarouge nous permet de connaître le nombre d'étoiles jeunes dans cette galaxie

# Un télescope infrarouge, pourquoi ?

Les astrophysiciens prennent des photos des étoiles, du milieu interstellaire, des galaxies à différentes longueurs d'ondes. La lumière à ces différentes longueurs d'ondes est émise par des objets et/ou des processus physiques très différents. L'analyse d'un grand nombre d'images permet de comprendre le fonctionnement de l'Univers.



L'émission visible nous permet de connaître le nombre d'étoiles vieilles dans cette galaxie

L'émission infrarouge nous permet de connaître le nombre d'étoiles jeunes dans cette galaxie

# Un télescope infrarouge, pourquoi ?

Les astrophysiciens prennent des photos des étoiles, du milieu interstellaire, des galaxies à différentes longueurs d'ondes. La lumière à ces différentes longueurs d'ondes est émise par des objets et/ou des processus physiques très différents. L'analyse d'un grand nombre d'images permet de comprendre le fonctionnement de l'Univers.



La lumière des galaxies situées à des milliards d'années-lumière nous parvient à travers un espace en expansion. Ceci décale leur lumière visible dans l'infrarouge.

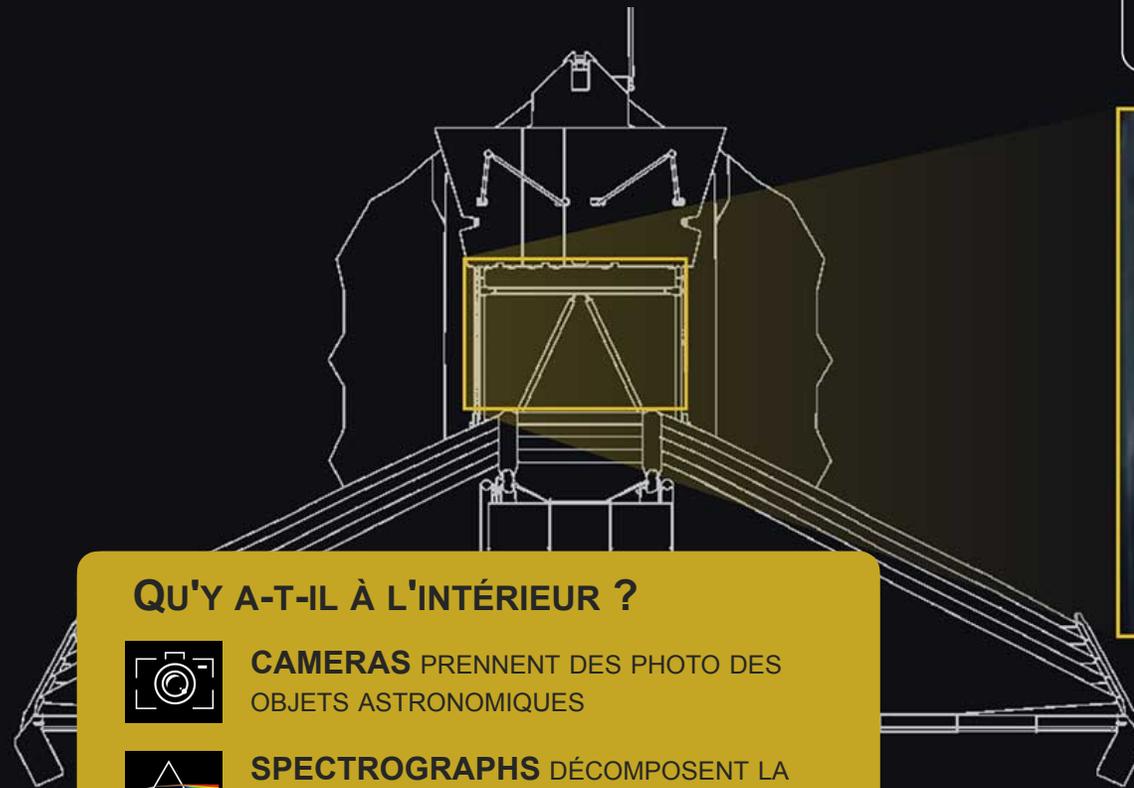
# Un miroir et quoi d'autre ?

---



# Un miroir et quoi d'autre ?

## LES INSTRUMENTS DU JWST



### QU'Y A-T-IL À L'INTÉRIEUR ?



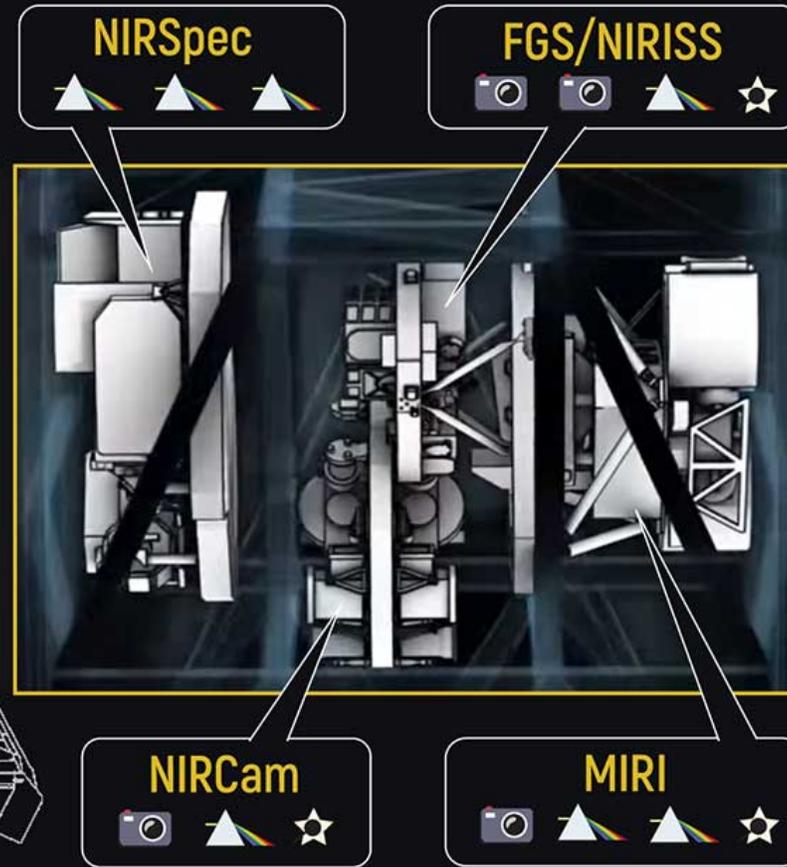
**CAMERAS** PRENNENT DES PHOTO DES OBJETS ASTRONOMIQUES



**SPECTROGRAPHS** DÉCOMPOSENT LA LUMIÈRE EN COULEURS POUR L'ANALYSER



**CORONOGRAPHES** BLOQUENT LA LUMIÈRE D'UNE ÉTOILE, PERMETTANT L'OBSERVATION DES PLANÈTES AUTOUR D'ELLE.



# Un miroir et quoi d'autre ?

## LES INSTRUMENTS DU JWST



### QU'Y A-T-IL À L'INTÉRIEUR ?



**CAMERAS** PRENNENT DES PHOTO DES OBJETS ASTRONOMIQUES



**SPECTROGRAPHS** DÉCOMPOSENT LA LUMIÈRE EN COULEURS POUR L'ANALYSER



**CORONOGRAPHES** BLOQUENT LA LUMIÈRE D'UNE ÉTOILE, PERMETTANT L'OBSERVATION DES PLANÈTES AUTOUR D'ELLE.

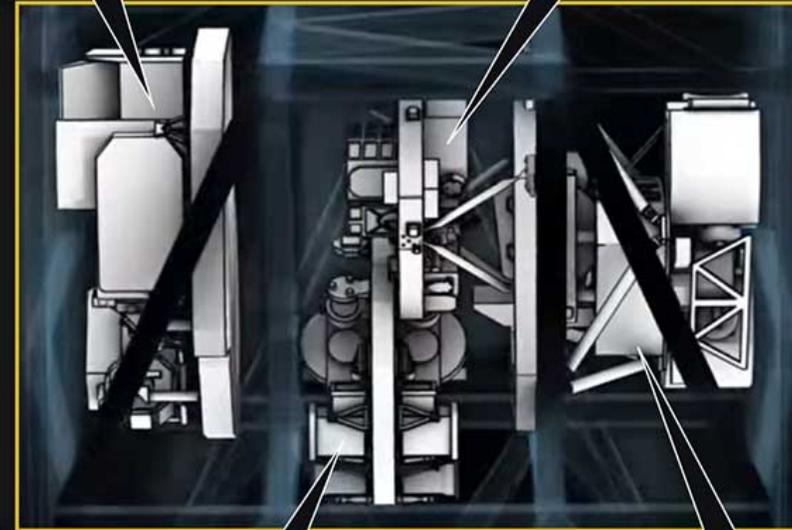
EU

NIRSpec



CANADA

FGS/NIRISS



NIRCam



MIRI



US

EU + US

# Un miroir et quoi d'autre ?

## MIRI

**50% Europe - 50% US**

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

Un spectrographe : MRS

Un imageur : MIRIm

Sous l'égide du CNES la France est  
responsable de l'imager MIRIm

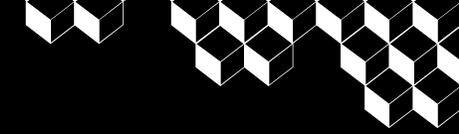
**Le CEA est le maître d'oeuvre de MIRIm**



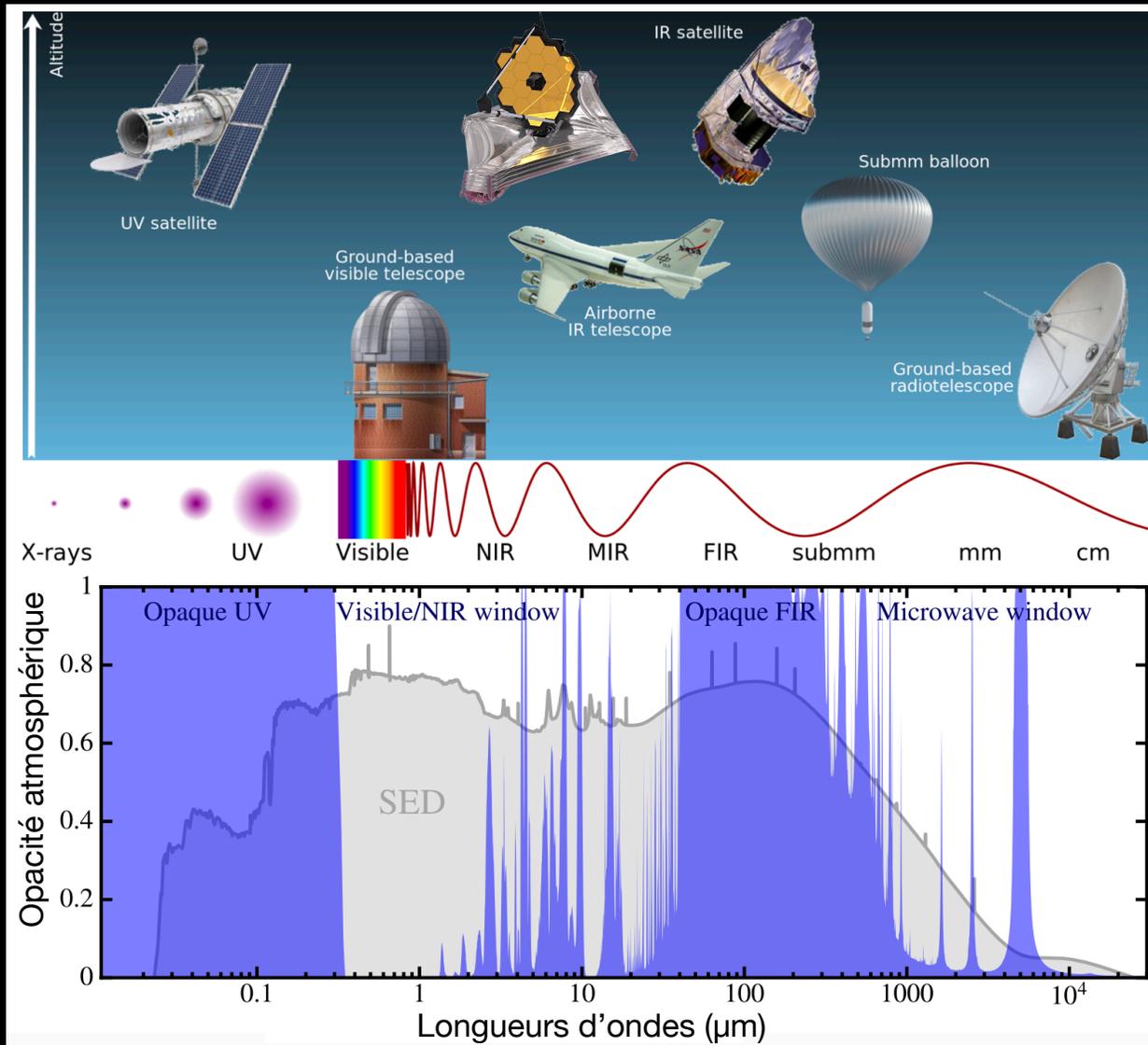
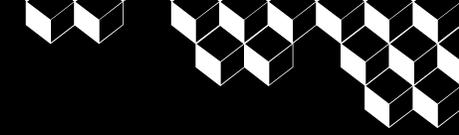
Inspection de MIRIm au CEA Paris-Saclay

# Un télescope dans l'espace, pourquoi ?

---



# Un télescope dans l'espace, pourquoi ?



L'atmosphère laisse passer la lumière visible et radio venant de l'univers:

✓ Observatoire terrestre

L'atmosphère absorbe la lumière UV et infrarouge venant de l'univers:

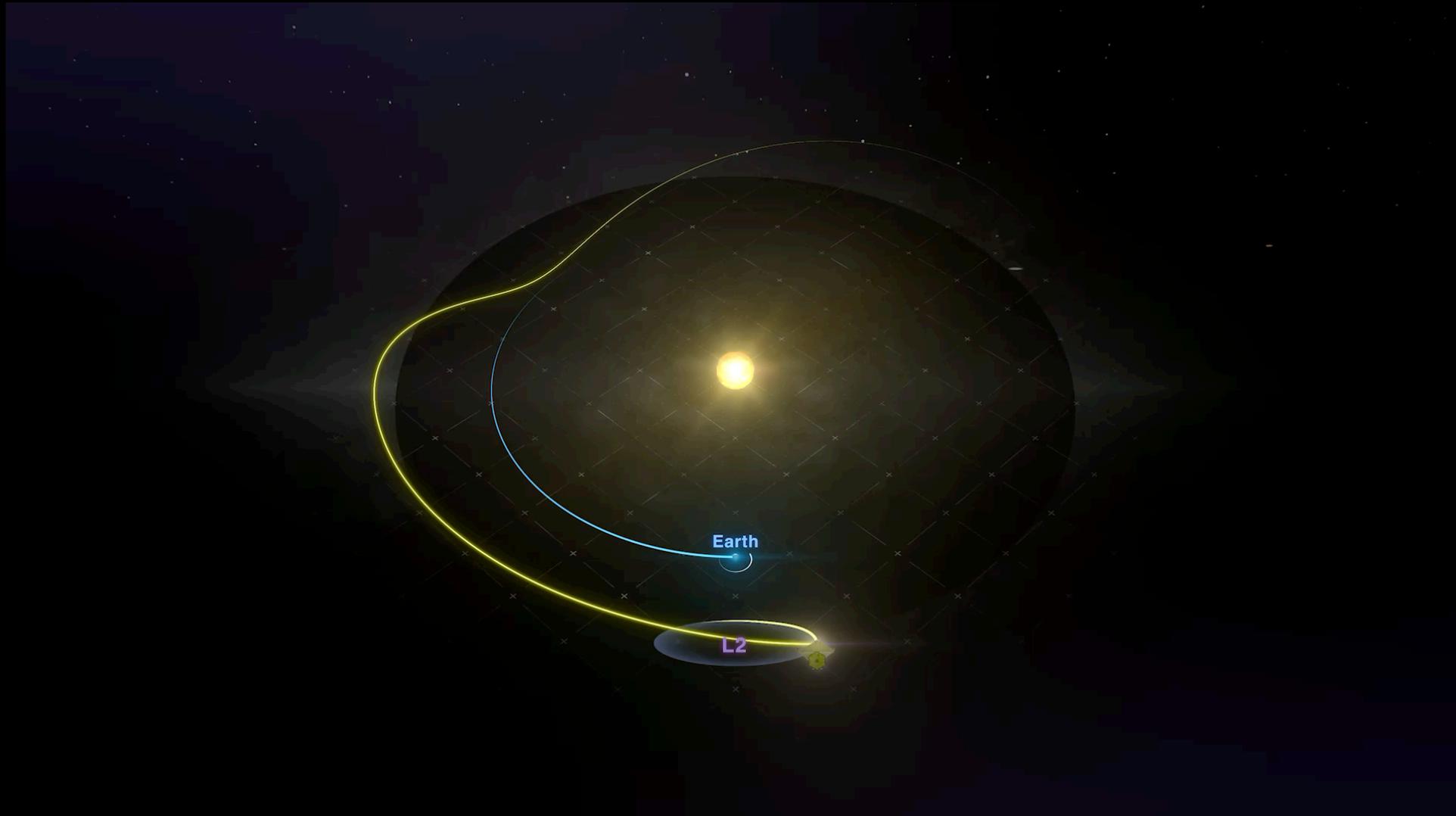
✓ Observatoire spatial

**Lancé le 25 Décembre 2021 par Ariane**

**JAMES WEBB SPACE TELESCOPE**  
**NOMINAL DEPLOYMENT SEQUENCE**



# Lancé le 25 Décembre 2021 par Ariane

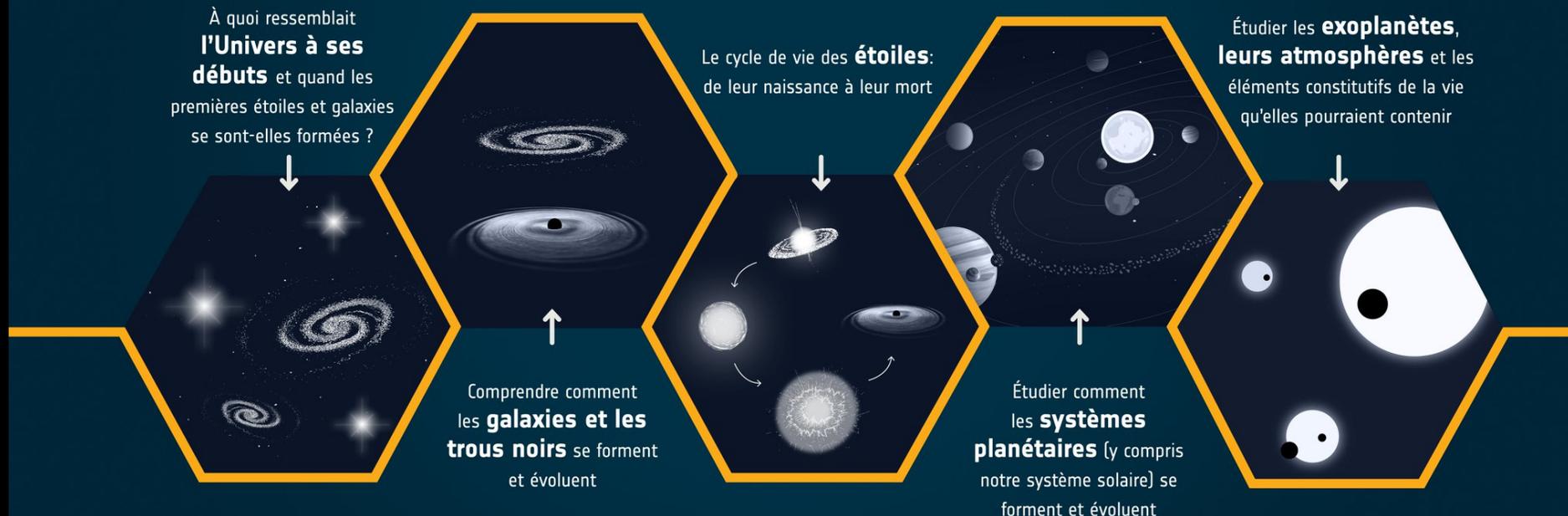


# Objectifs Scientifiques du JWST



## SCIENCE

Webb est conçu pour répondre à des questions essentielles sur l'Univers et pour faire des découvertes révolutionnaires dans tous les domaines de l'astronomie.

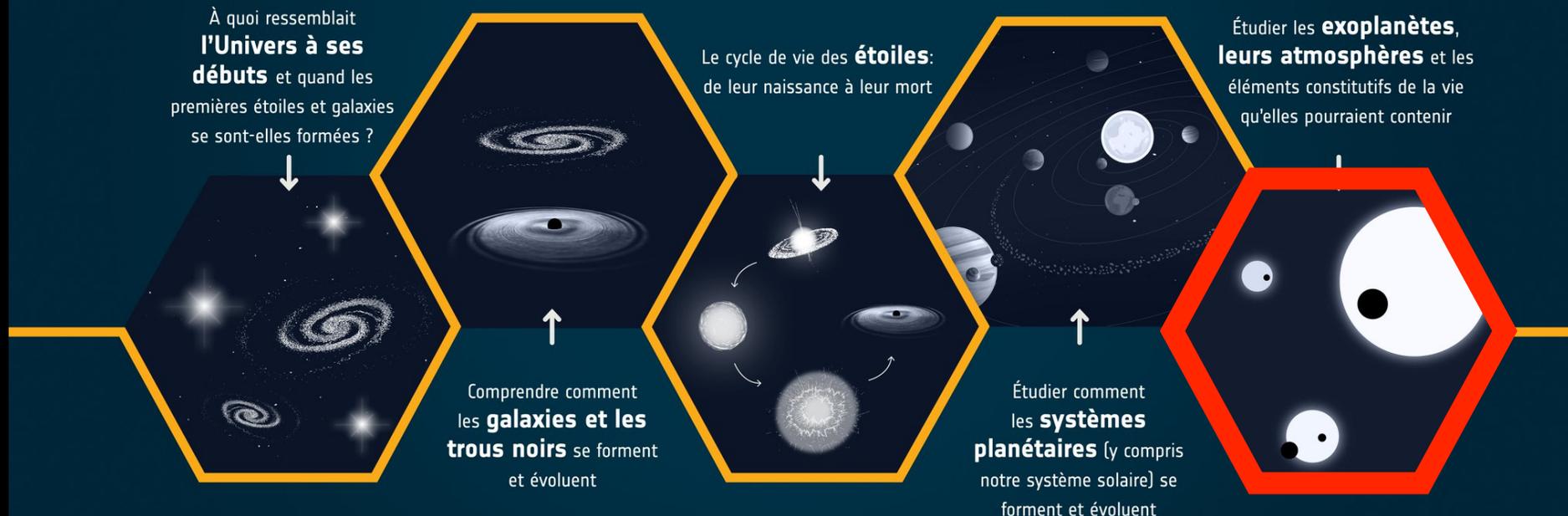


# Objectifs Scientifiques du JWST

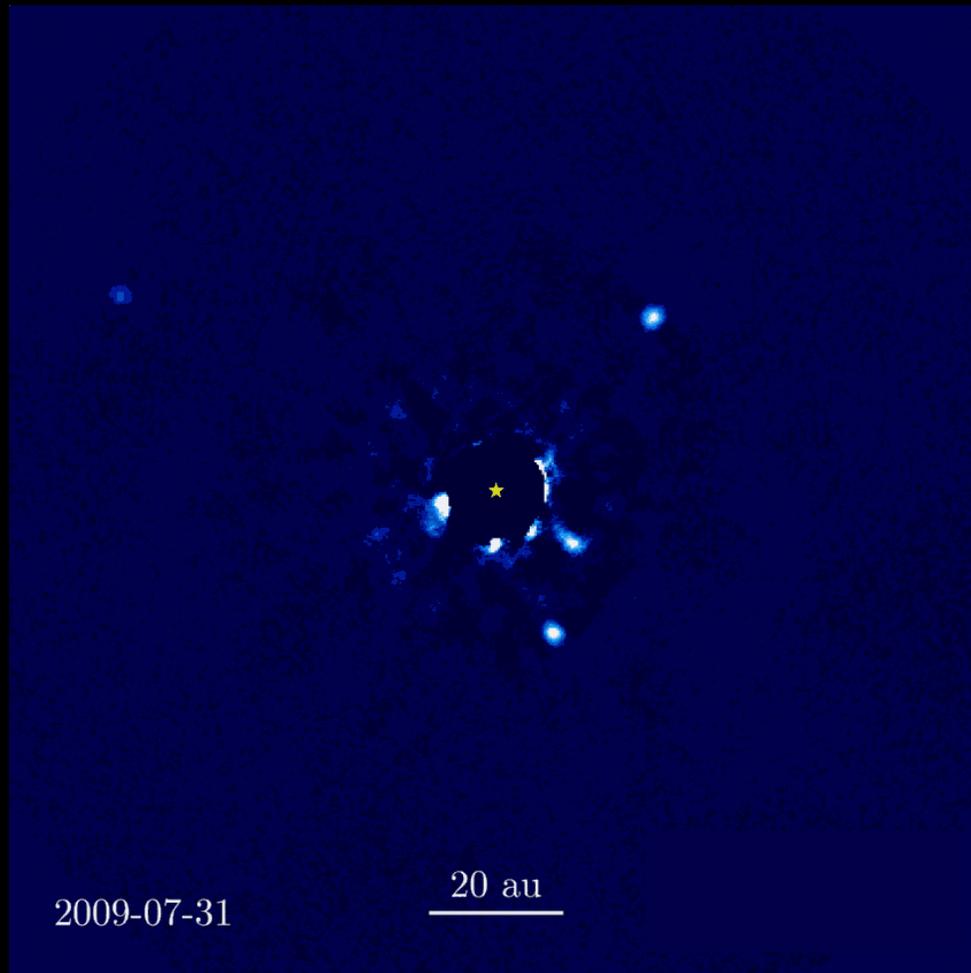


## SCIENCE

Webb est conçu pour répondre à des questions essentielles sur l'Univers et pour faire des découvertes révolutionnaires dans tous les domaines de l'astronomie.



# L'étude des exoplanètes : une science jeune



Lumière directe d'exoplanètes autour de l'étoile HR 8799

1995 :

Détection de la 1<sup>ère</sup> exoplanète 51 Pegasi b par la méthode des vitesses radiales (Mayor & Queloz)

1999 :

Détection du 1<sup>er</sup> "transit" d'une exoplanète

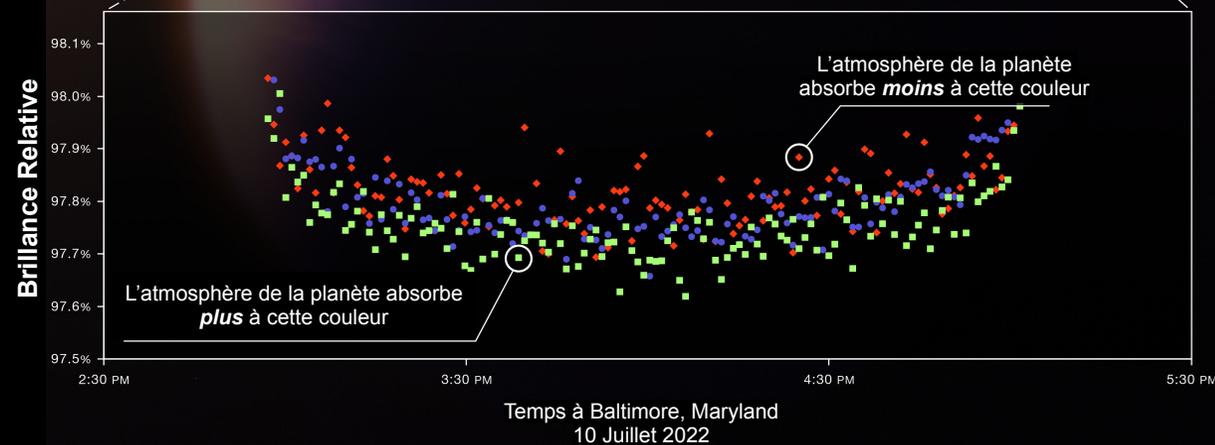
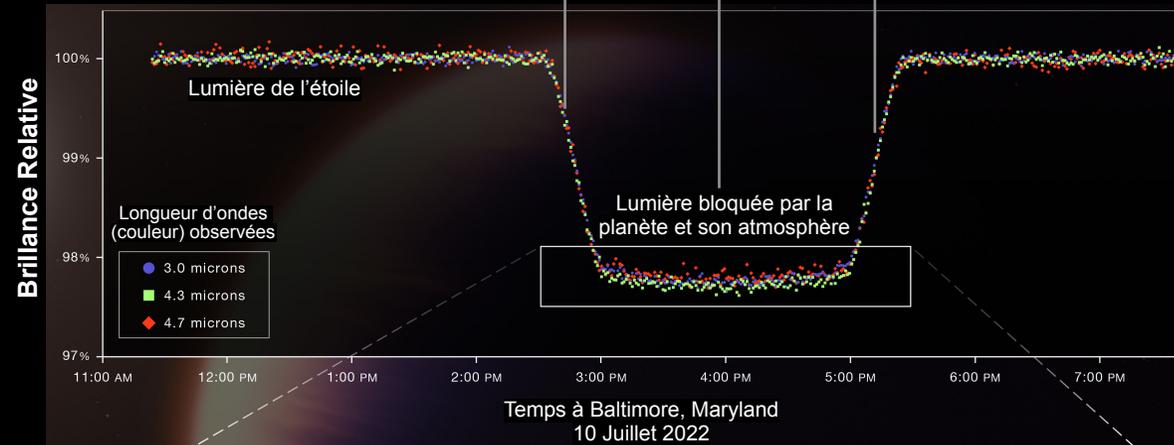
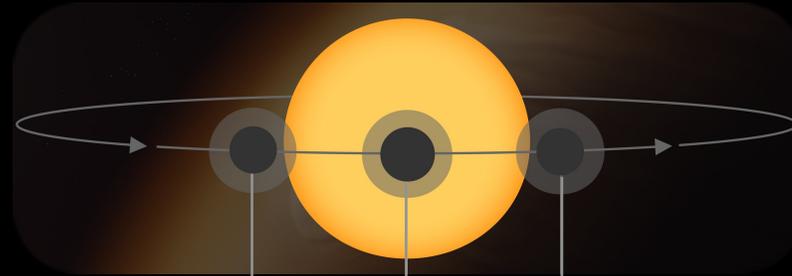
2008 :

Première détection de la lumière directe d'exoplanètes dites Super Géantes Gazeuses ( $\times 7 M_{\text{Jupiter}}$ )

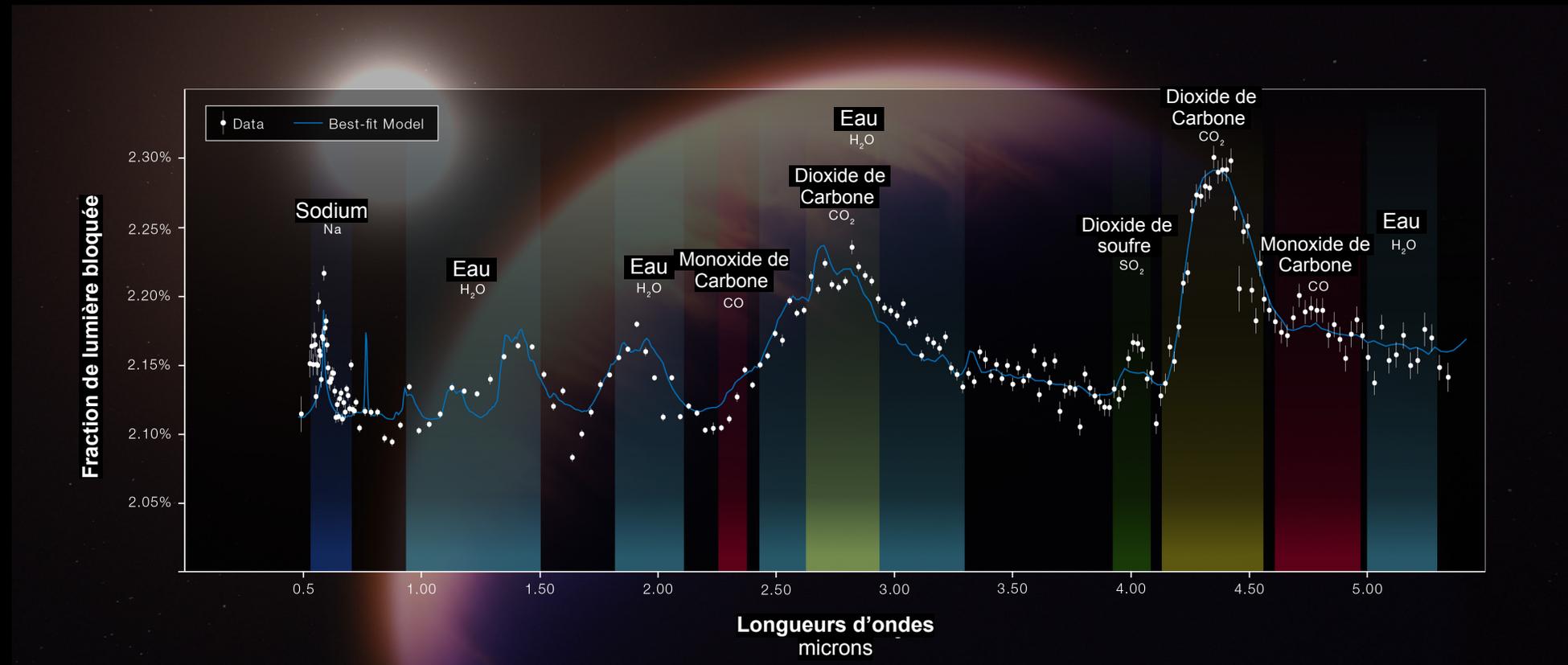
2019 :

Première détection de vapeur d'eau dans l'atmosphère d'un exoplanète

# La méthode des transites



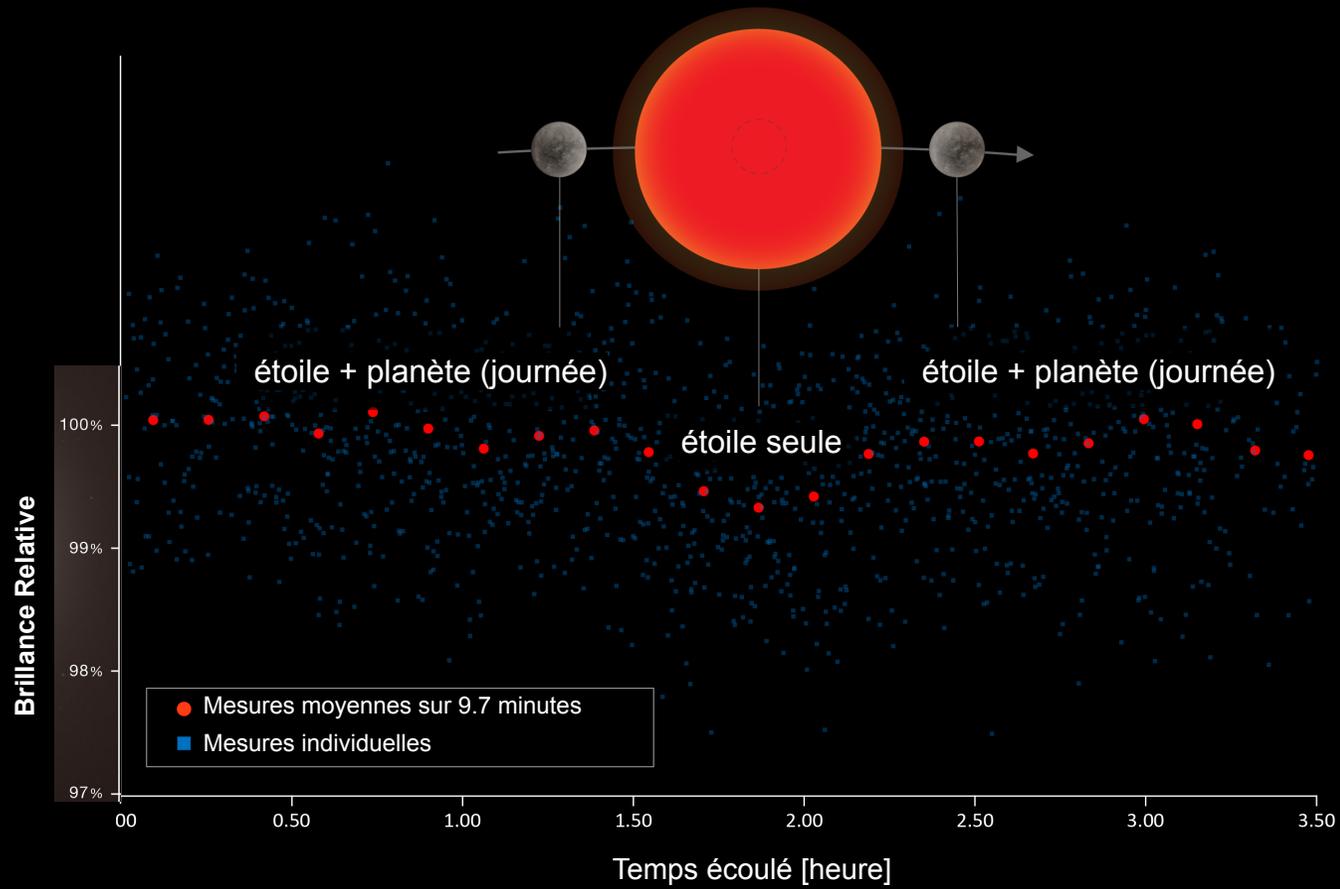
# La méthode des transites



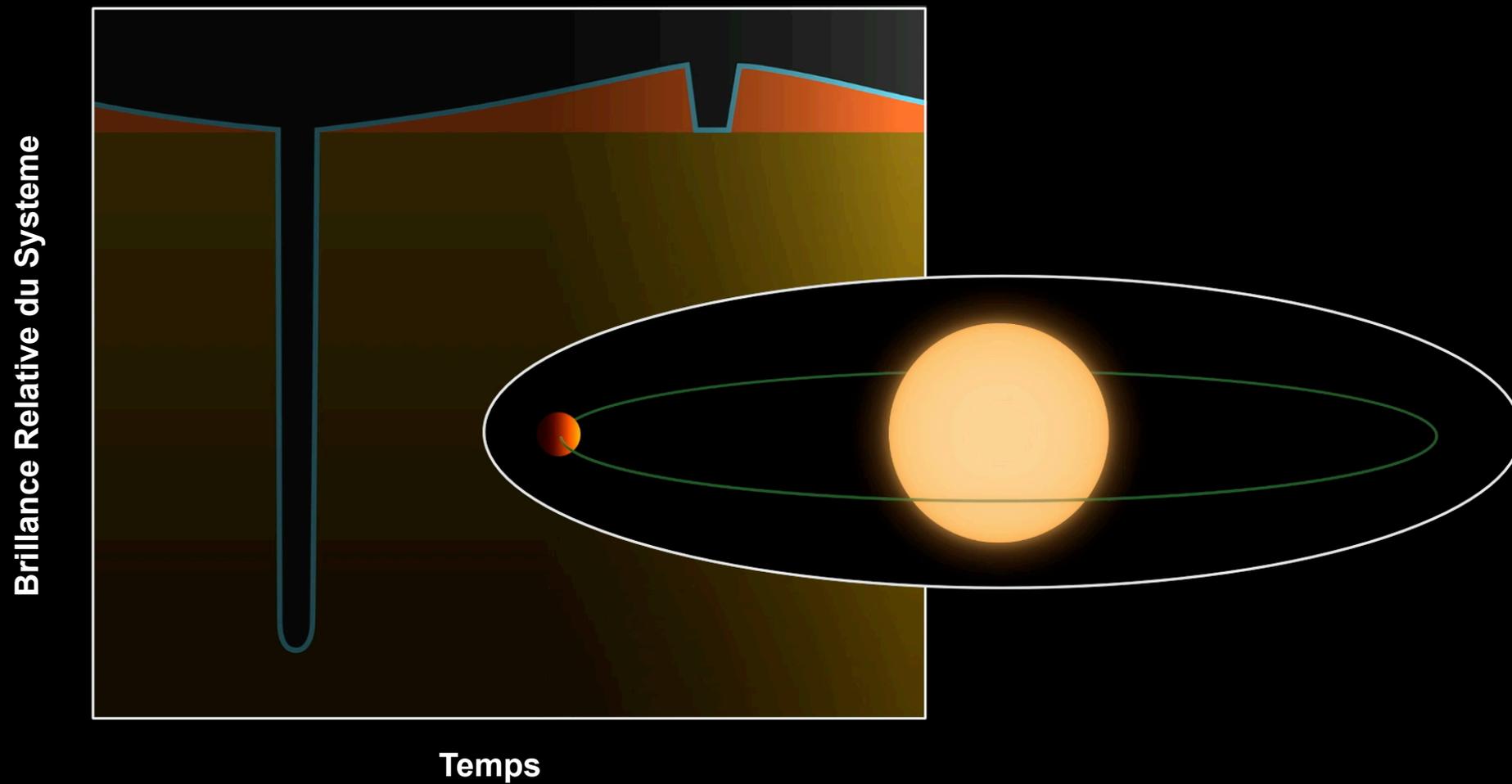
Détection, pour la première fois, du dioxyde de carbone et du dioxyde de soufre dans l'atmosphère d'une exoplanète géante gazeuse dite "Saturne chaude" ( $WASP-39b : M \sim M_{\text{Saturne}} - R_{\text{Orbite}} < R_{\text{Orbite}}^{\text{Mercure}}$ ).

Preuve de photochimie, c'est-à-dire de réactions chimiques déclenchées par la lumière énergétique des étoiles.

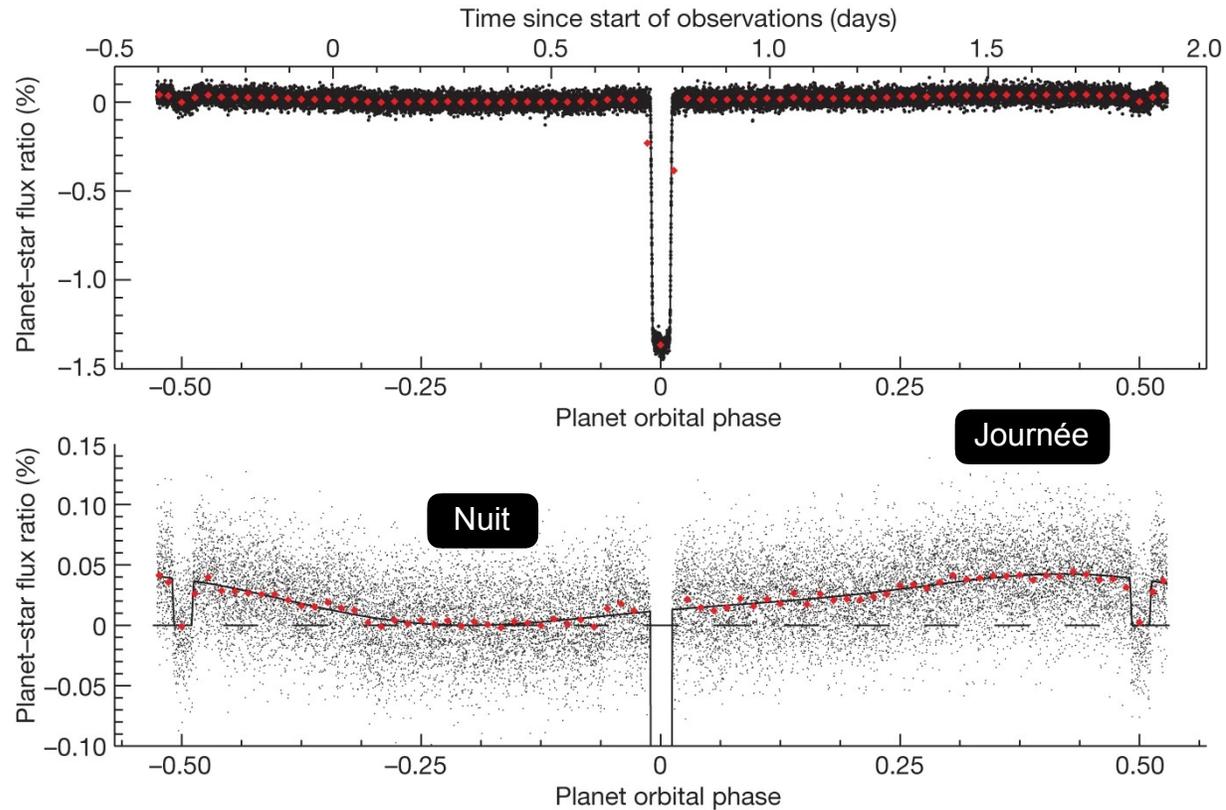
# La méthode des occultations



# La méthode des courbes de phase



# La méthode des courbes de phase



Détection, pour la première fois, de la courbe de phase d'une "mini-neptune", GJ 1214 b, seulement possible grâce à MIRI.

Grand contraste entre le jour et la nuit. Le côté nuit est plus froid (165 degrés Celsius) que le côté jour (279 degrés Celsius).

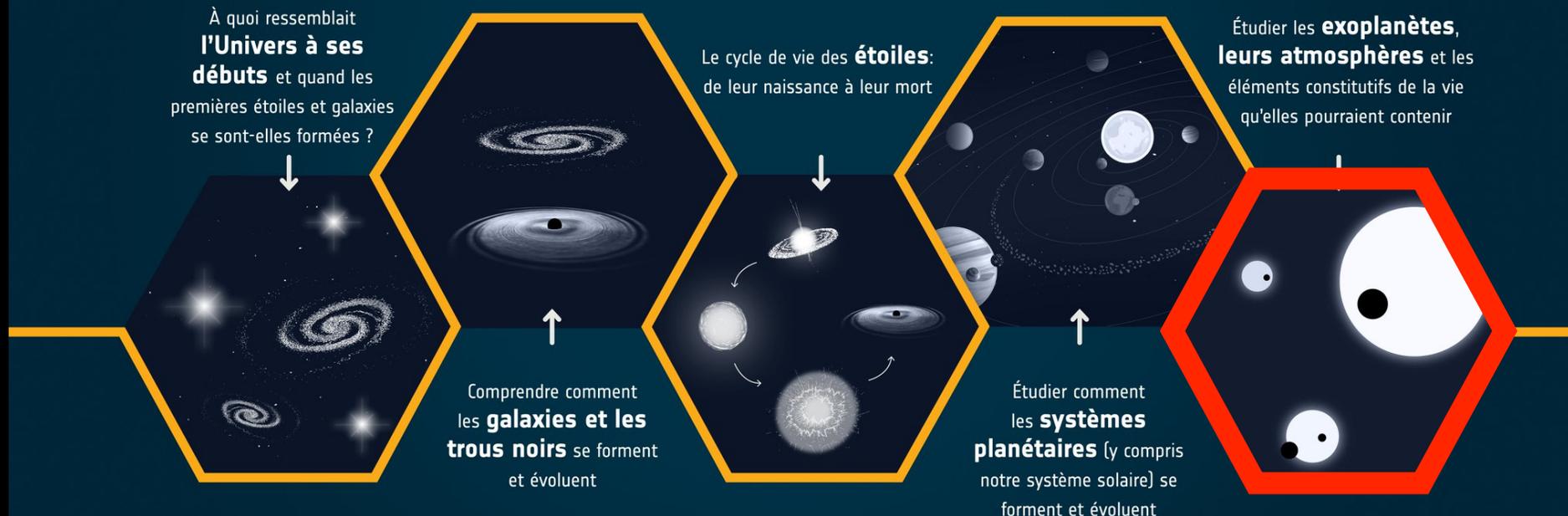
Un contraste aussi important est possible car l'atmosphère est composée de molécules d'eau ou de méthane.

# Objectifs Scientifiques du JWST

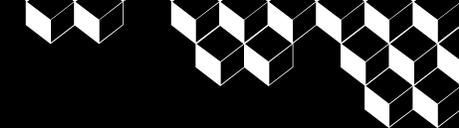


## SCIENCE

Webb est conçu pour répondre à des questions essentielles sur l'Univers et pour faire des découvertes révolutionnaires dans tous les domaines de l'astronomie.

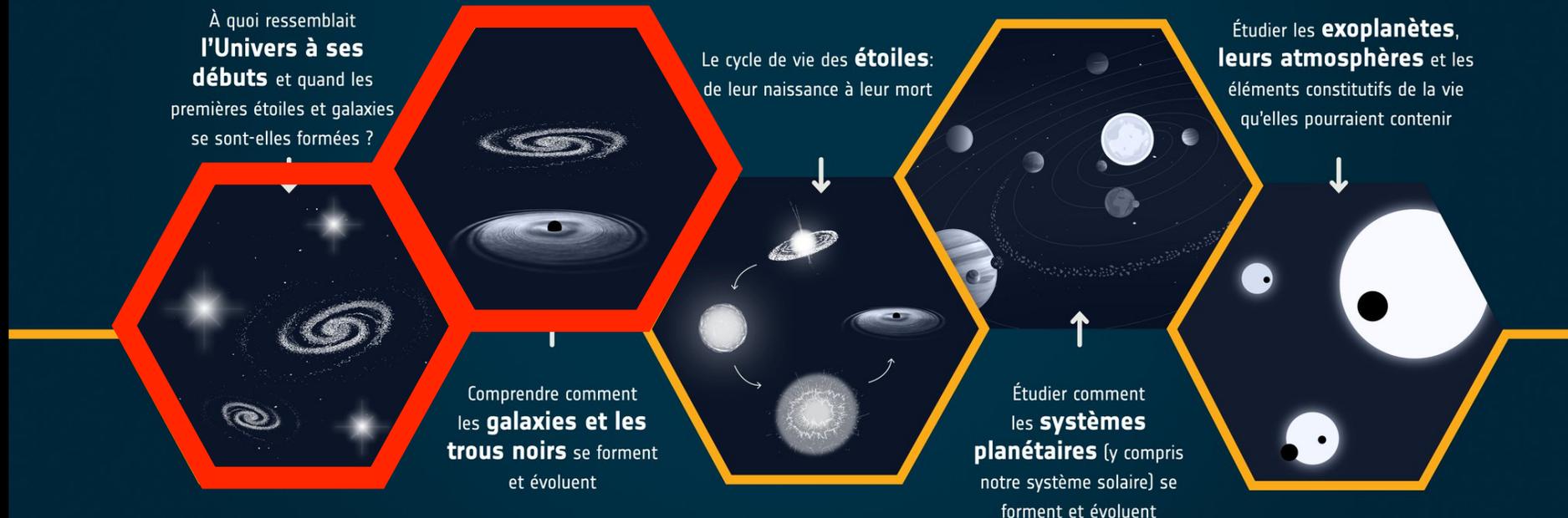


# Objectifs Scientifiques du JWST

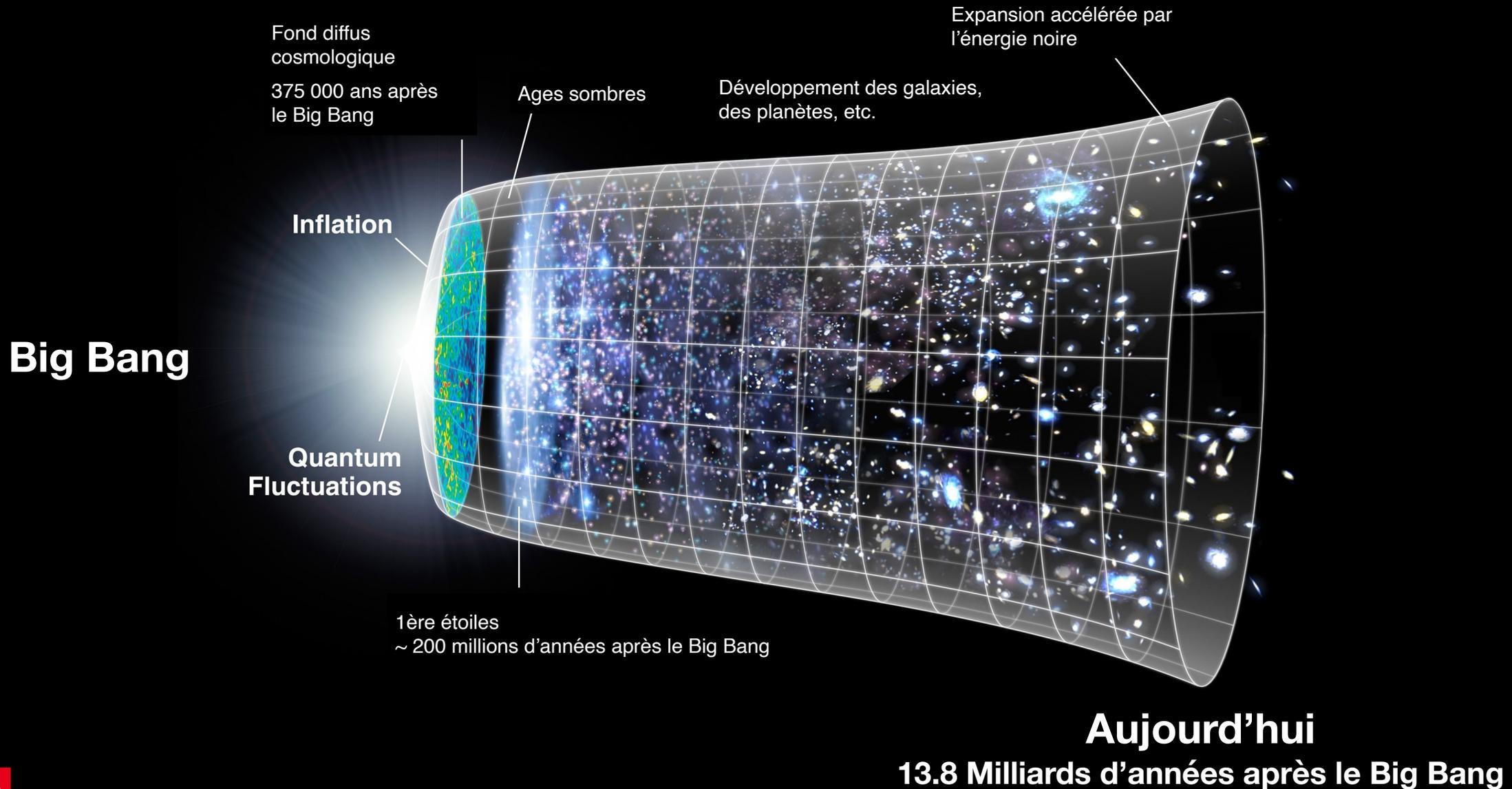
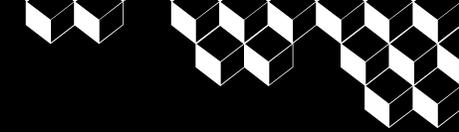


## SCIENCE

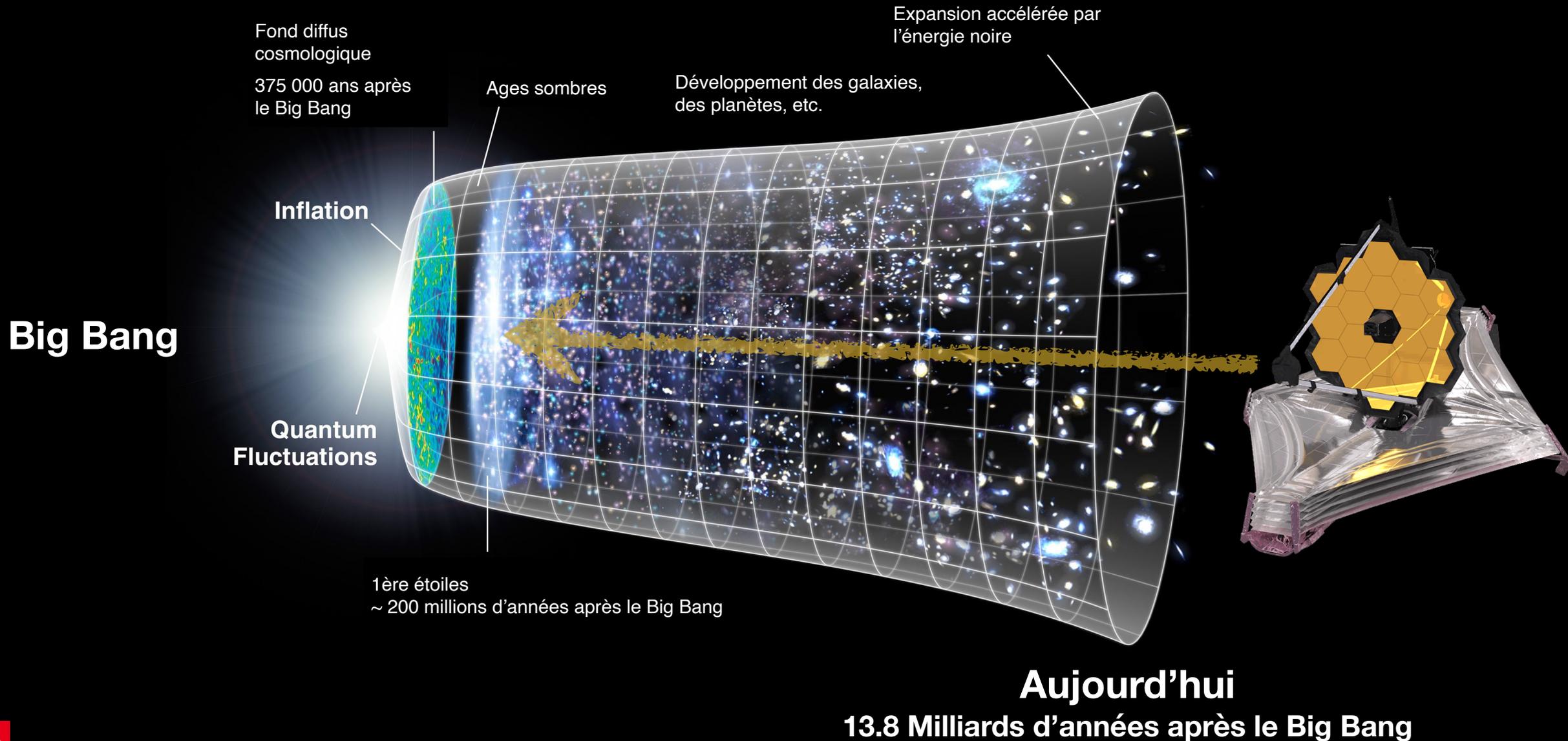
Webb est conçu pour répondre à des questions essentielles sur l'Univers et pour faire des découvertes révolutionnaires dans tous les domaines de l'astronomie.



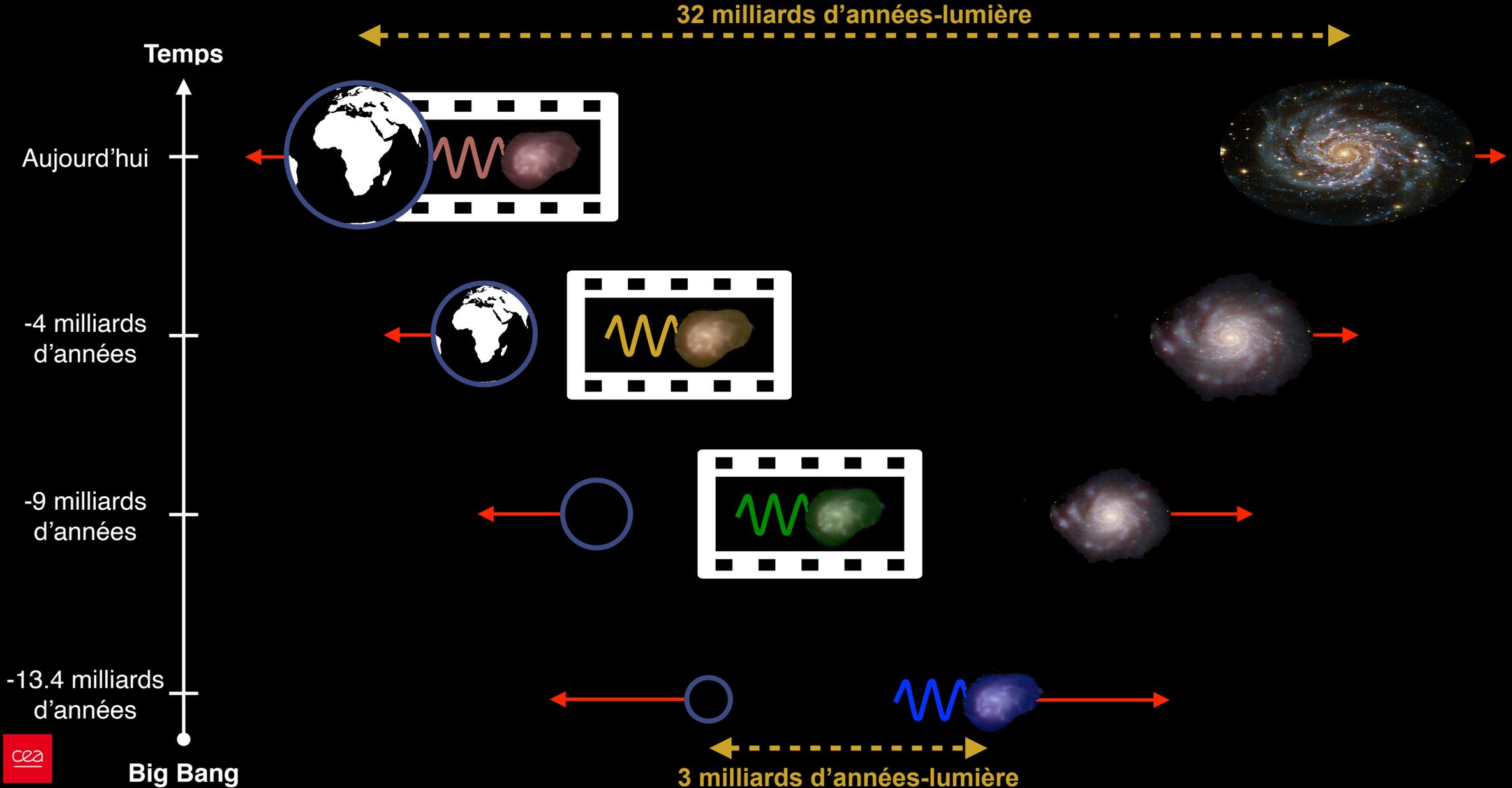
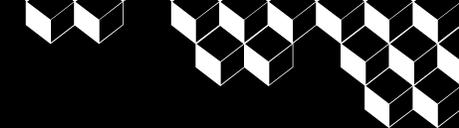
# Un Univers en expansion



# Un Univers en expansion



# Un Univers en expansion



# Décrypter les champs profonds du ciel



HUBBLE DEEP FIELD

## Couleur :

- *Distance*
- *Age des étoiles*
- *Présence de poussière*

## Forme/Morphologie :

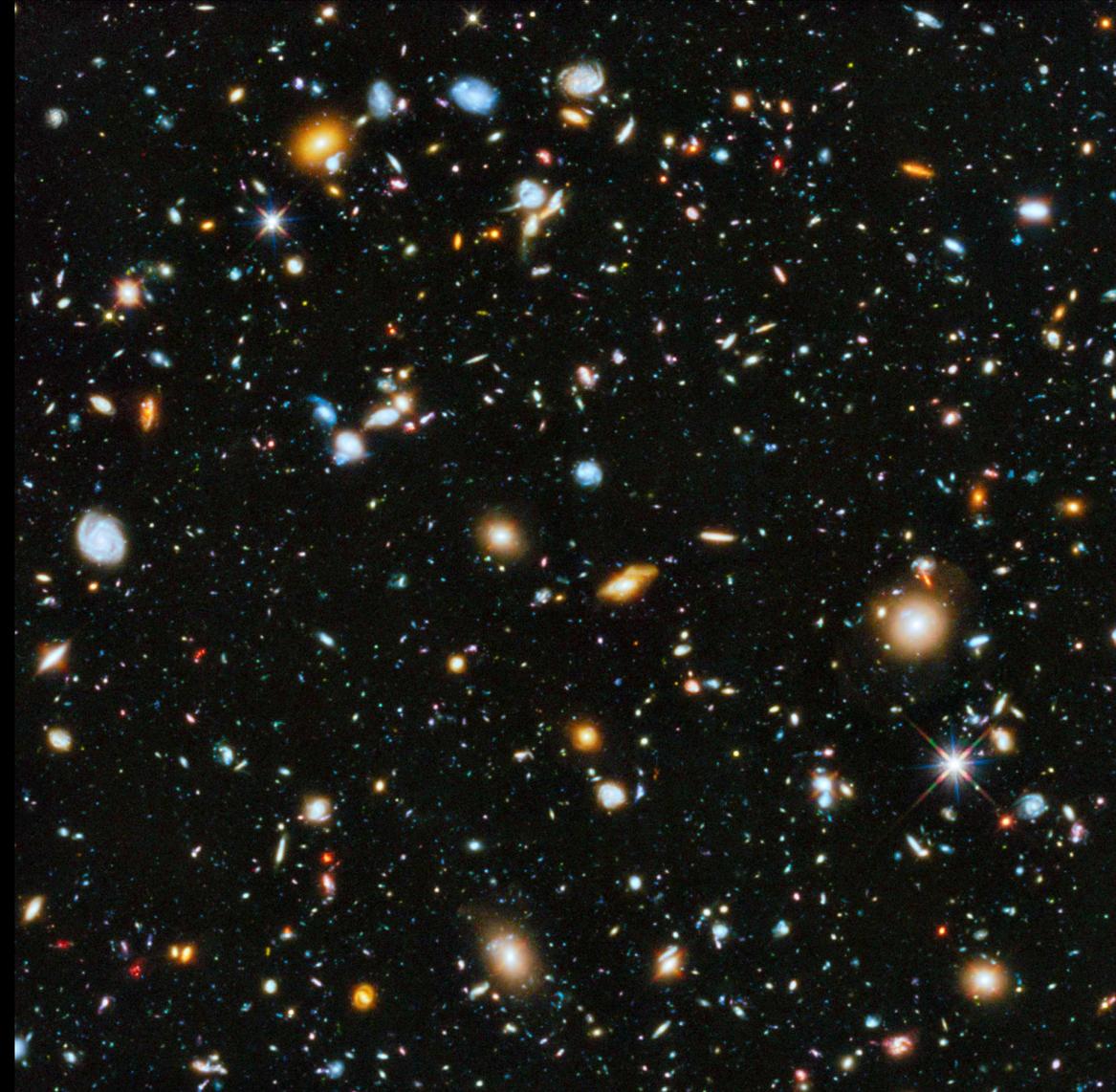
- *Profils de lumière*
- *Tailles*

## Brillance Absolue :

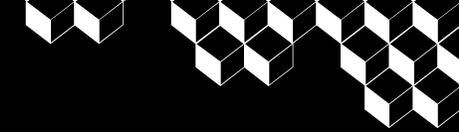
- *Masse d'étoiles, de gaz, de poussière...*

## Spectre :

- *Distance*
- *Rythme de naissance des étoiles*
- *Proportion de "métaux"*
- *Présence de trou noir*



# Décrypter les champs profonds du ciel



HUBBLE DEEP FIELD

## Couleur :

- *Distance*
- *Age des étoiles*
- *Présence de poussière*

## Forme/Morphologie :

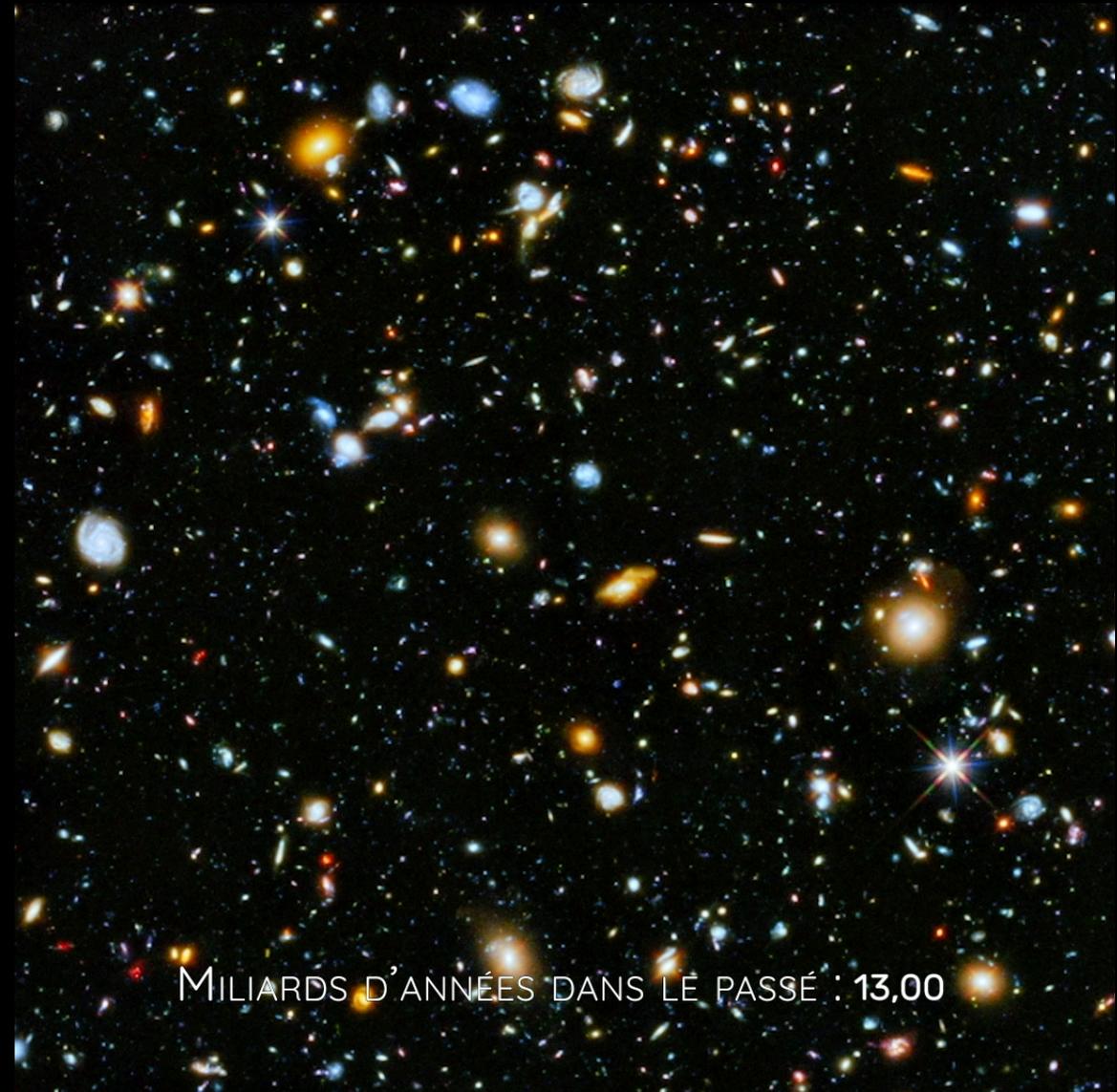
- *Profils de lumière*
- *Tailles*

## Brillance Absolue :

- *Masse d'étoiles, de gaz, de poussière...*

## Spectre :

- *Distance*
- *Rythme de naissance des étoiles*
- *Proportion de "métaux"*
- *Présence de trou noir*



MILIARDS D'ANNÉES DANS LE PASSÉ : 13,00

# Les champs profonds du JWST



Aujourd'hui

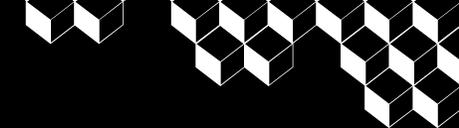


Big Bang

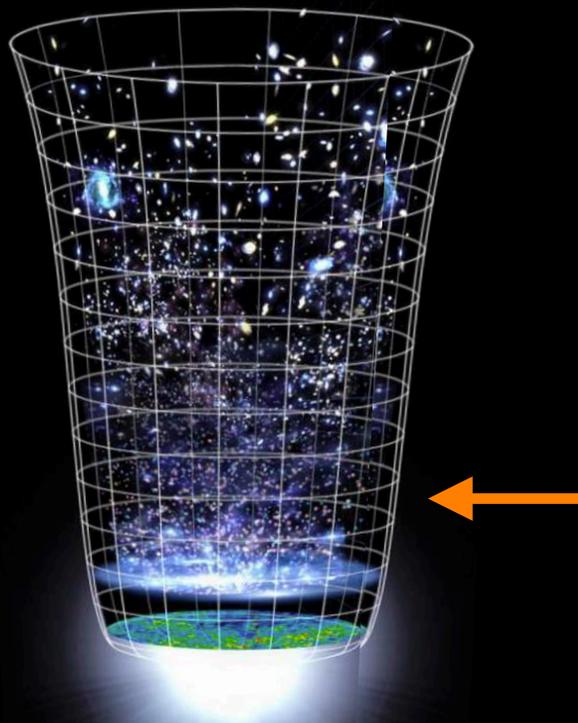
SMACS 0723



# Les champs profonds du JWST



Aujourd'hui



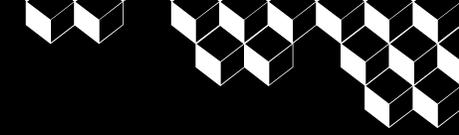
Big Bang

SMACS 0723

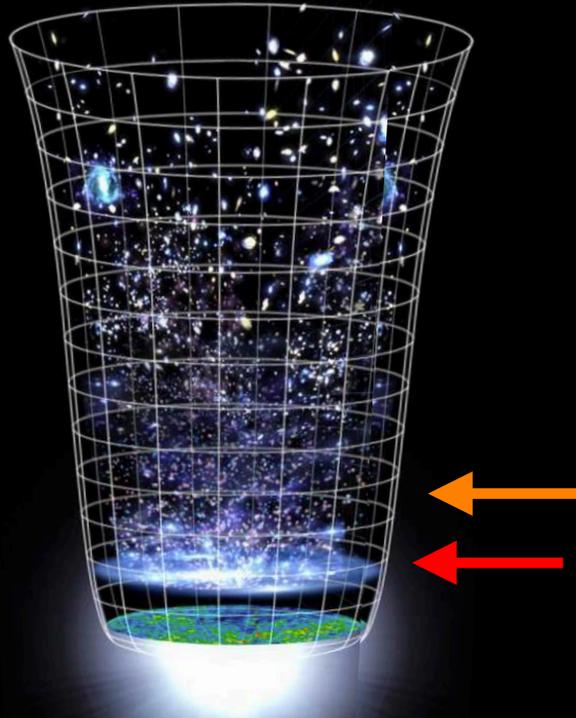


-10 milliards d'années

# Les champs profonds du JWST

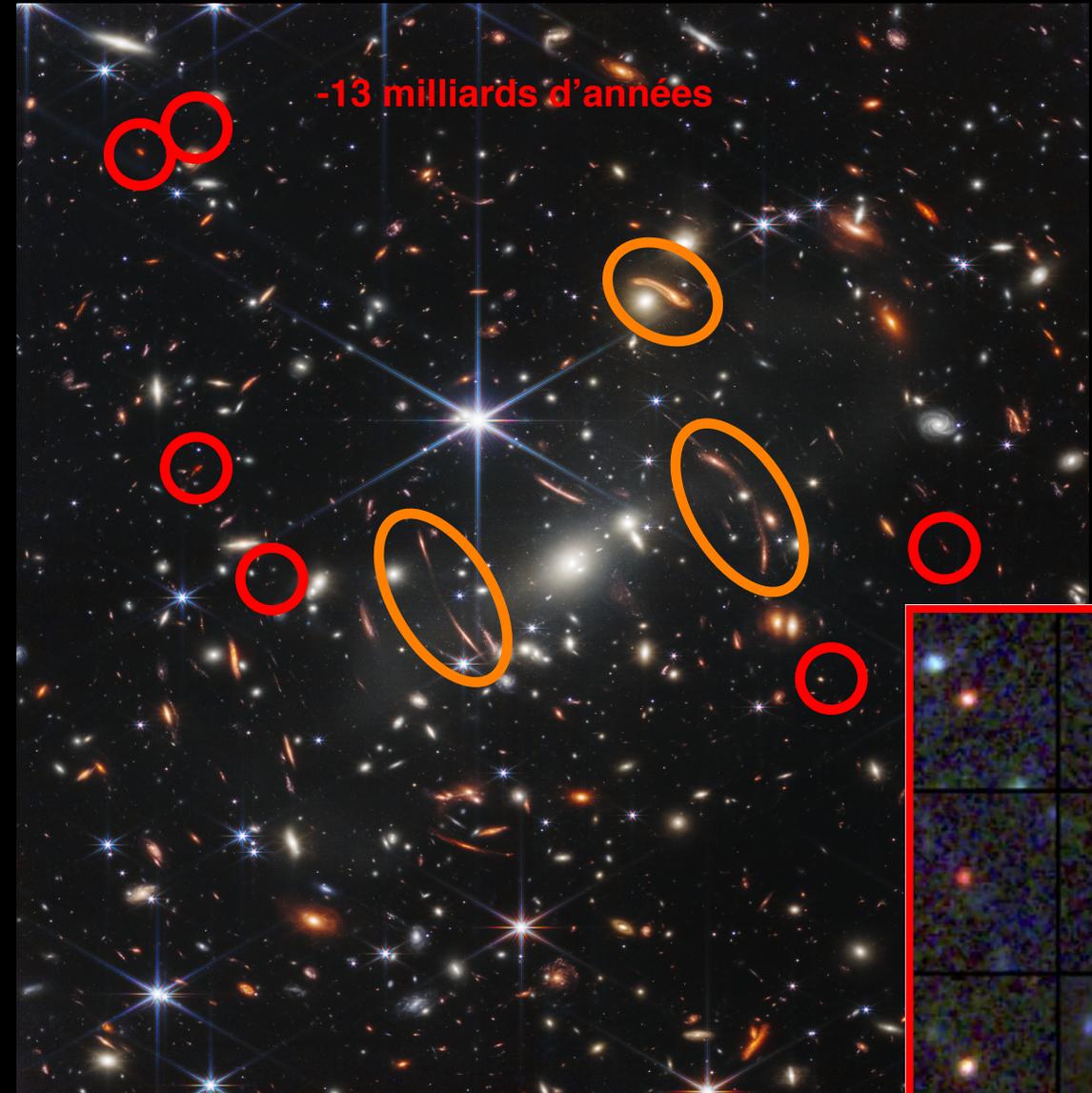


Aujourd'hui

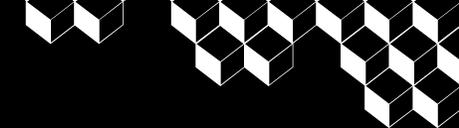


Big Bang

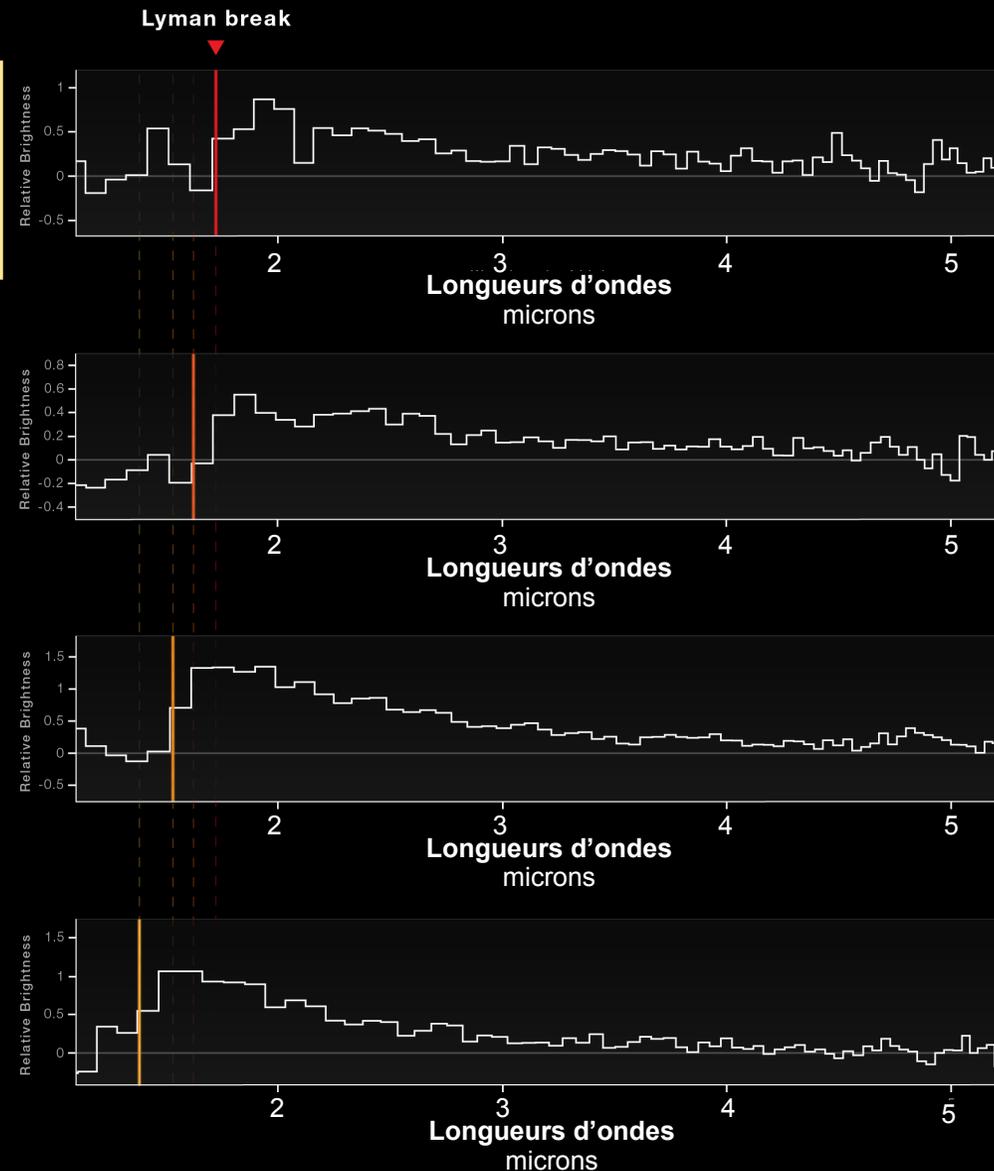
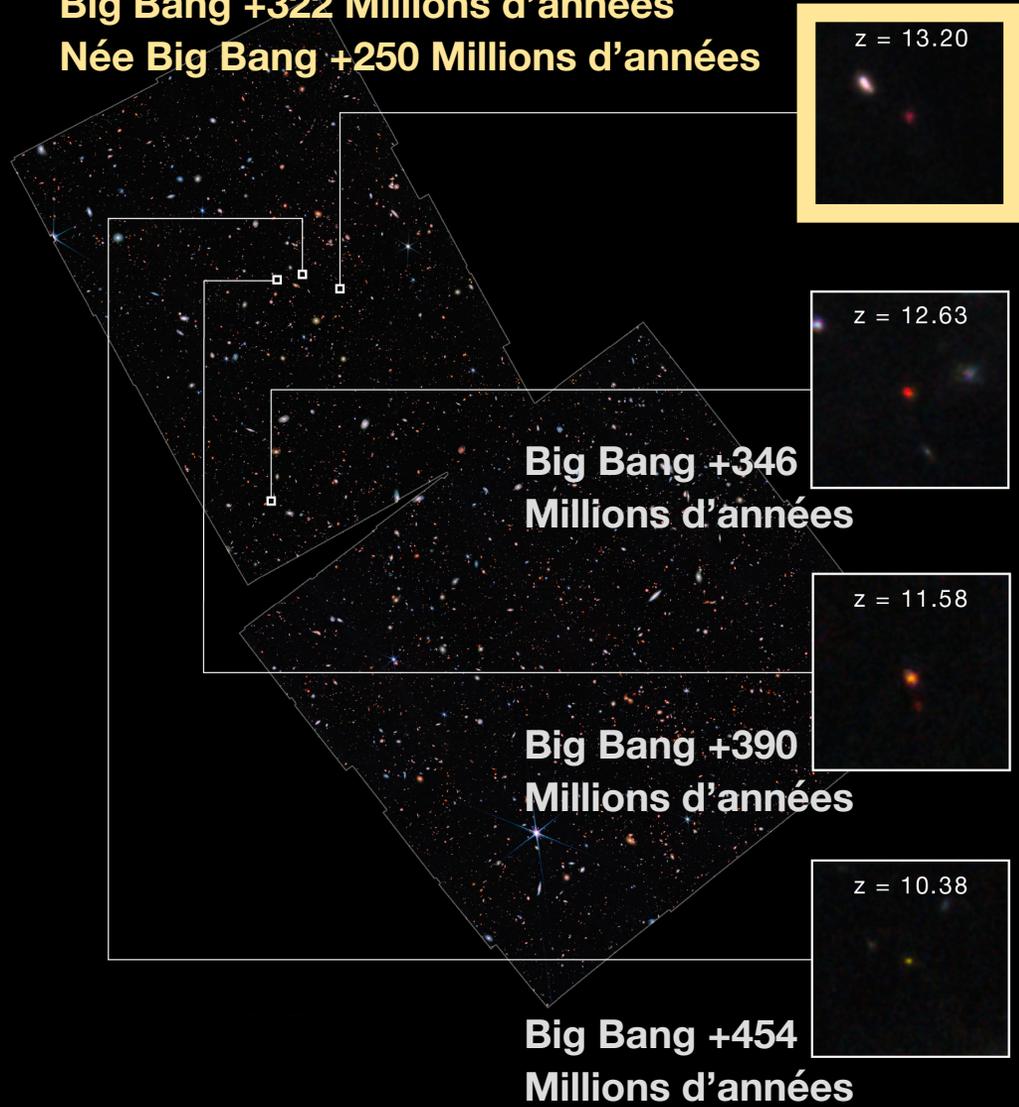
SMACS 0723



# Les champs profonds du JWST



Record : -13.5 Milliards d'années  
Big Bang +322 Millions d'années  
Née Big Bang +250 Millions d'années



# James Webb spots super old, massive galaxies that shouldn't exist

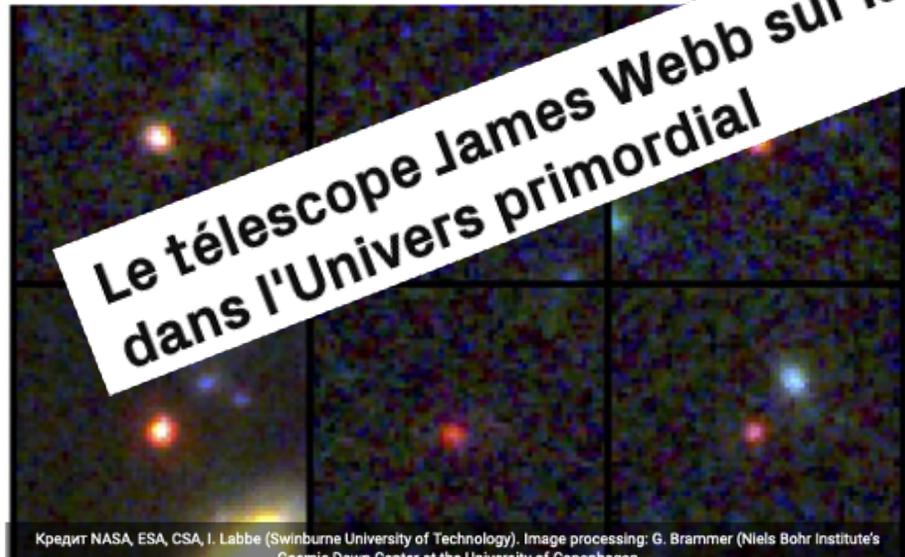
Date: February 22, 2023

# NewScientist

## Huge young galaxies seen by JWST may upend our models of the universe

### „Джеймс Уеб“ откри галактики, които не би трябвало да съществуват

Ваня Милева Последна промяна на 24 февруари 2023 в 00:01 • 10757 • 0



Кредит NASA, ESA, CSA, I. Labbe (Swinburne University of Technology). Image processing: G. Brammer (Niels Bohr Institute's Cosmic Dawn Center at the University of Copenhagen)

Шест масивни галактики, които вече са съществували 500-800 милиона години след Големия взрив. В една от тях, долната вляво, вероятно има толкова звезди, колкото в Млечния път днес, само че е 30 пъти по-плътна



galaxies



# Brussels Times

## 'Real shocker': Six massive galaxies could upend 'settled science'

Thursday, 23 February 2023

코로나19 ☀️ 전현직과학기술인 🇰🇷

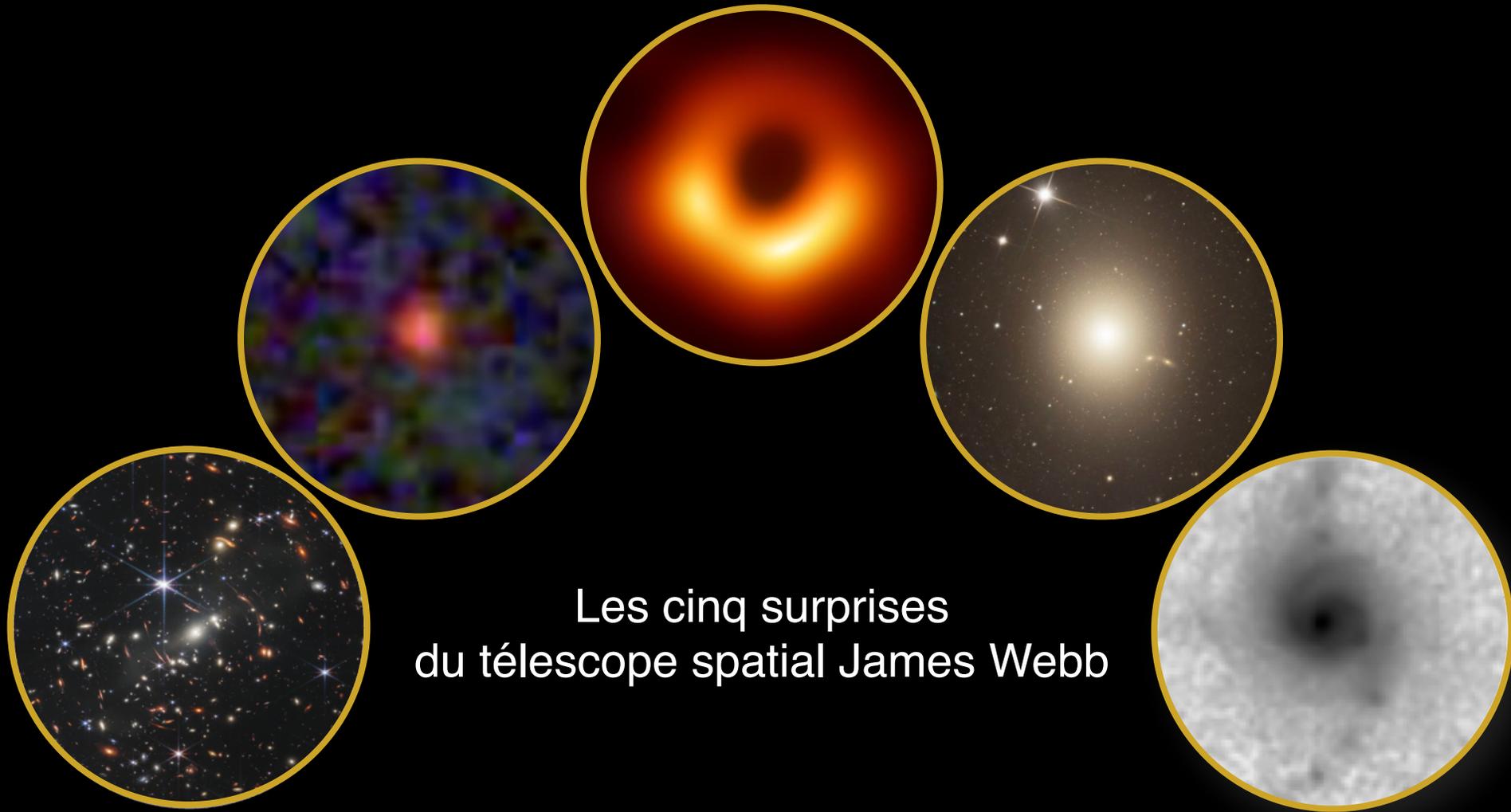
**The Science Times**

### 제임스 웹, “존재해서는 안 되는” 거대 은하들을 발견하다

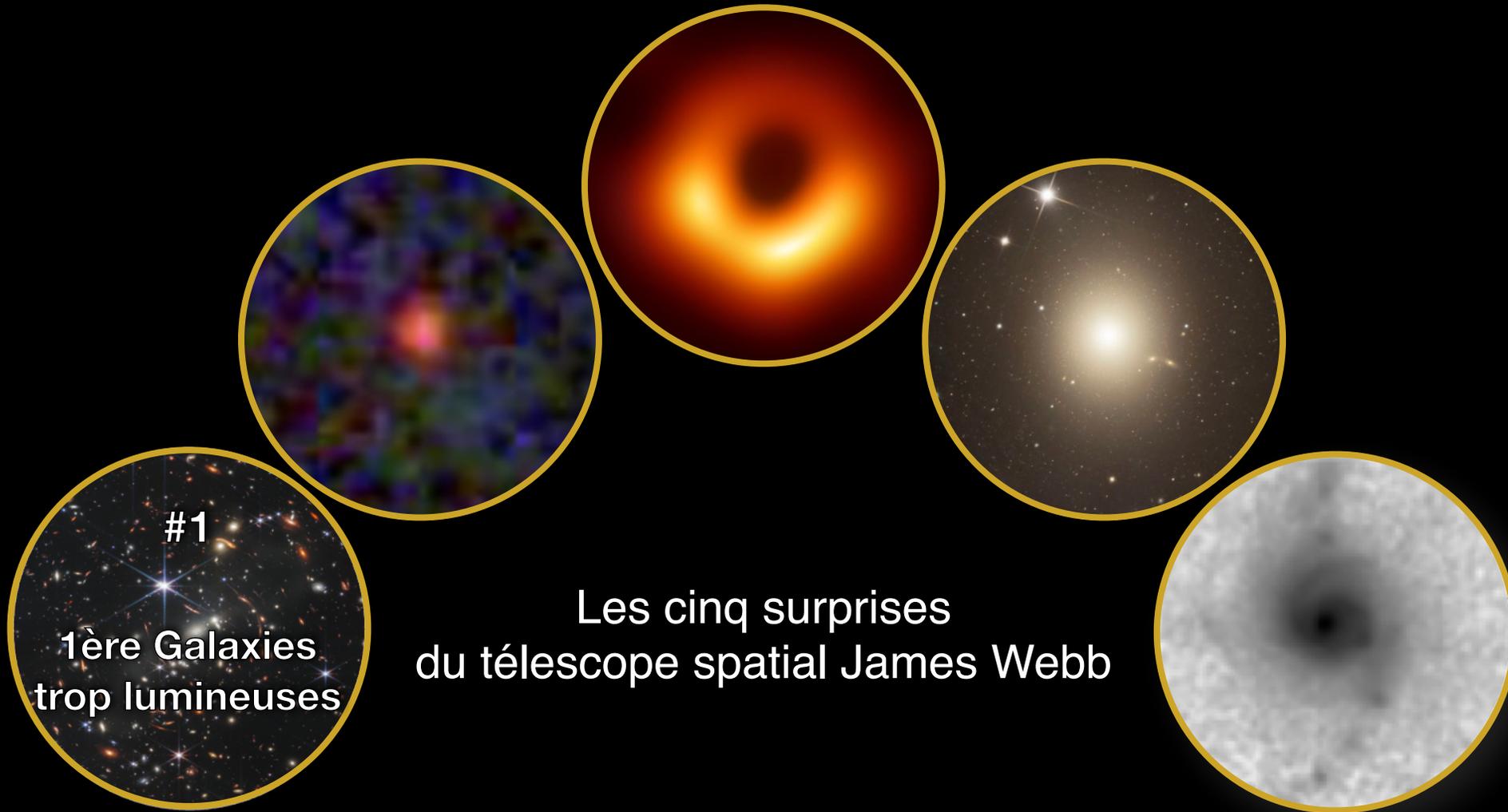
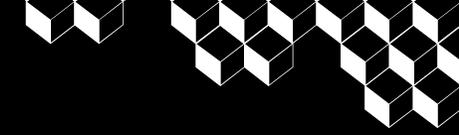
[JWST 발사부터 현재까지] 5억~7억 년 정도의 무거운 은하 후보를 6개나 찾아내다

관련 논문 바로 가기 - “빅뱅 후 약 6억년 이후의 적색 편이 거대 은하 집단 후보의 관측 (A population of red candidate massive galaxies ~600 Myr after the Big Bang)”

# Les surprises du JWST !



# Les surprises du JWST !



#1  
1ère Galaxies  
trop lumineuses

Les cinq surprises  
du télescope spatial James Webb

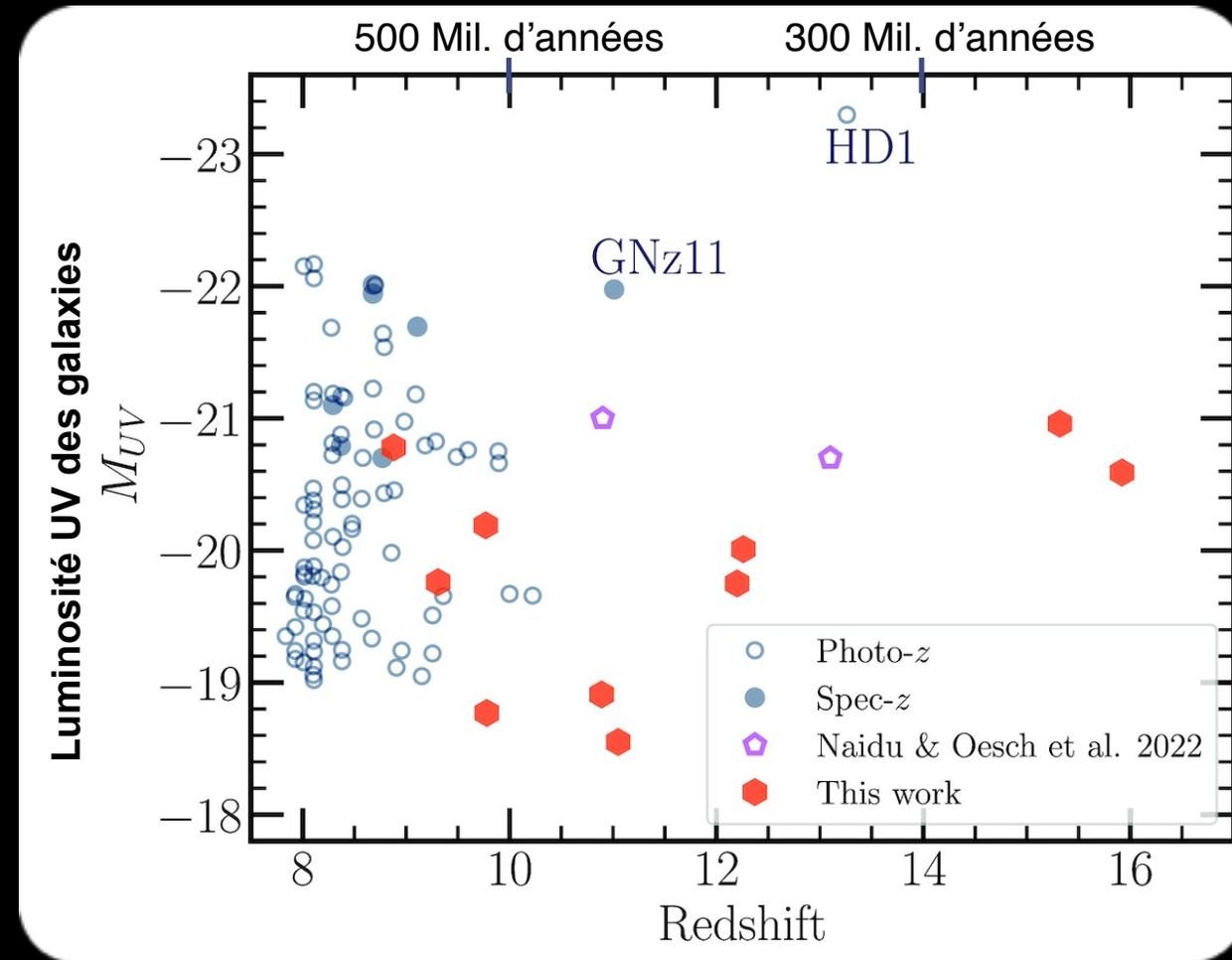
# #1 Des galaxies trop lumineuses !

Abondance inattendue de galaxies lumineuses dans les 600 millions d'années suivant le Big Bang !

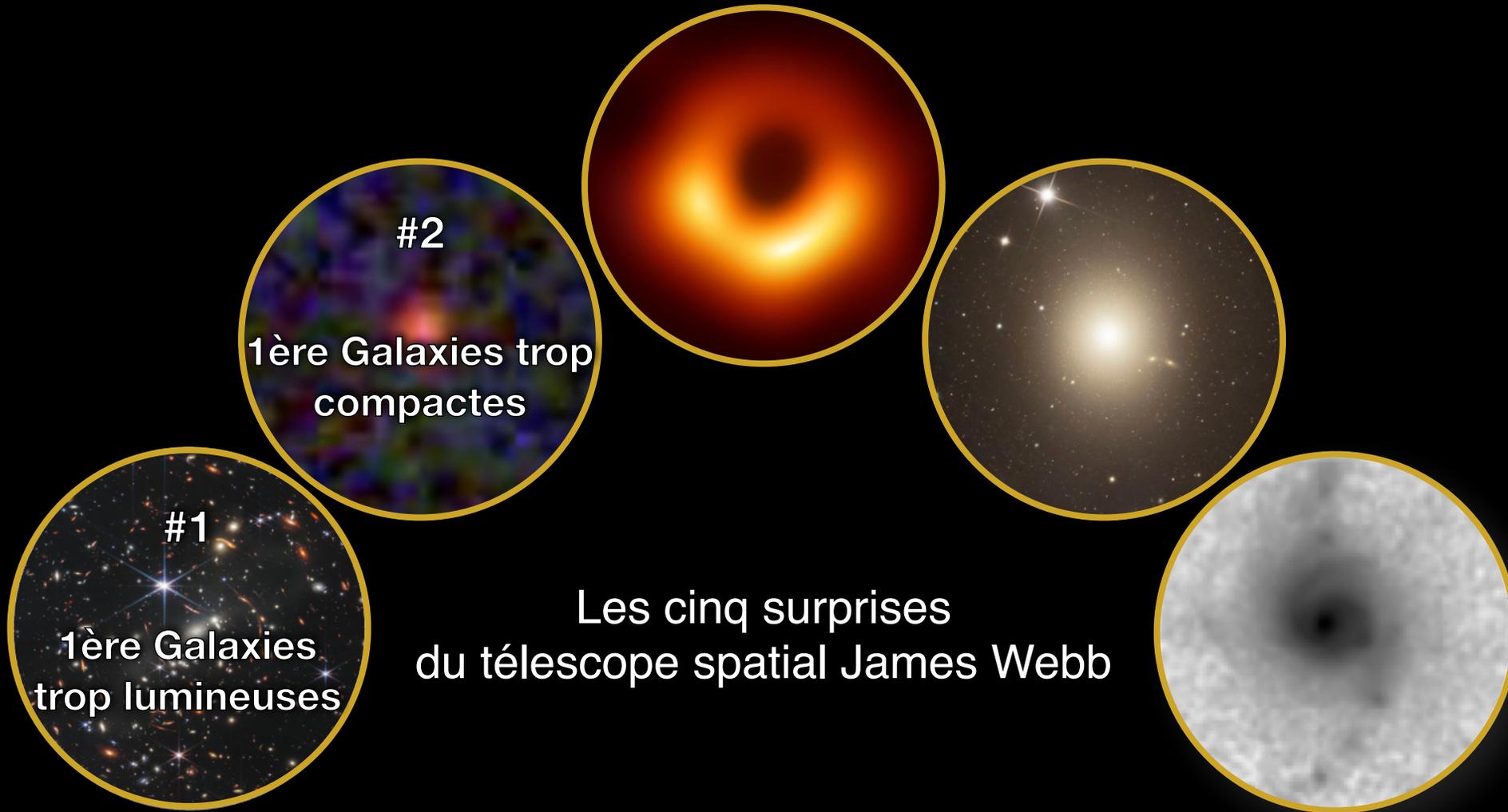
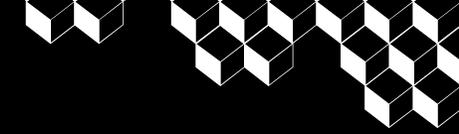
*“On a vu en quelques semaines plus de galaxies que ce qu’on attendait en une année”*

## Origines possibles :

- plus d'étoiles massives
- formation d'étoiles plus efficace



# Les surprises du JWST !



# #2 Des galaxies primordiales ultra-compactes !

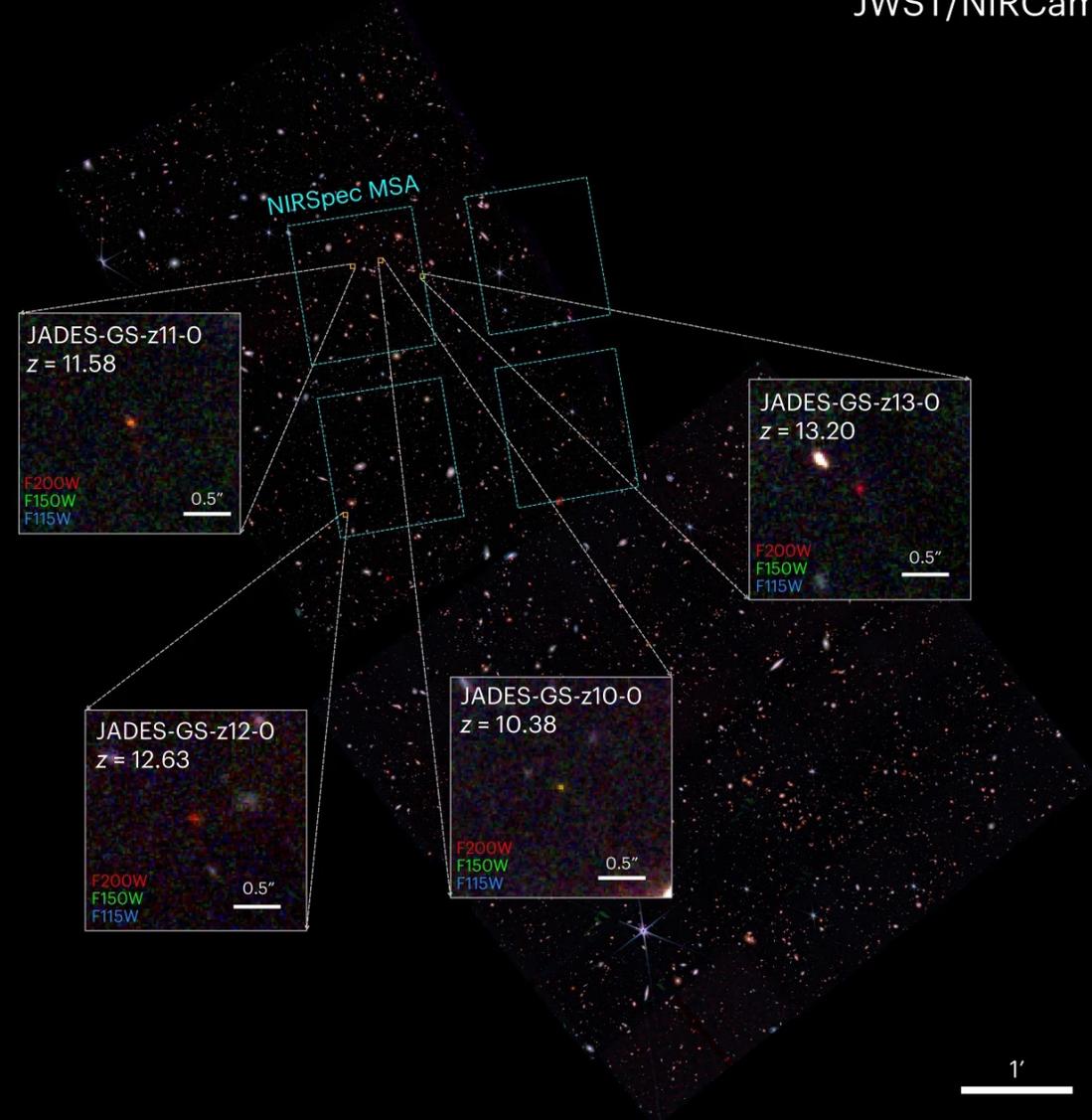
JADES/GOODS-S  
JWST/NIRCam

La taille de ces galaxies est ultra-compactes, seulement  $\sim 50$ - $165$  pc, alors que la fréquence des fusions de galaxies dans les simulations prédit des tailles de  $\sim 300$  pc

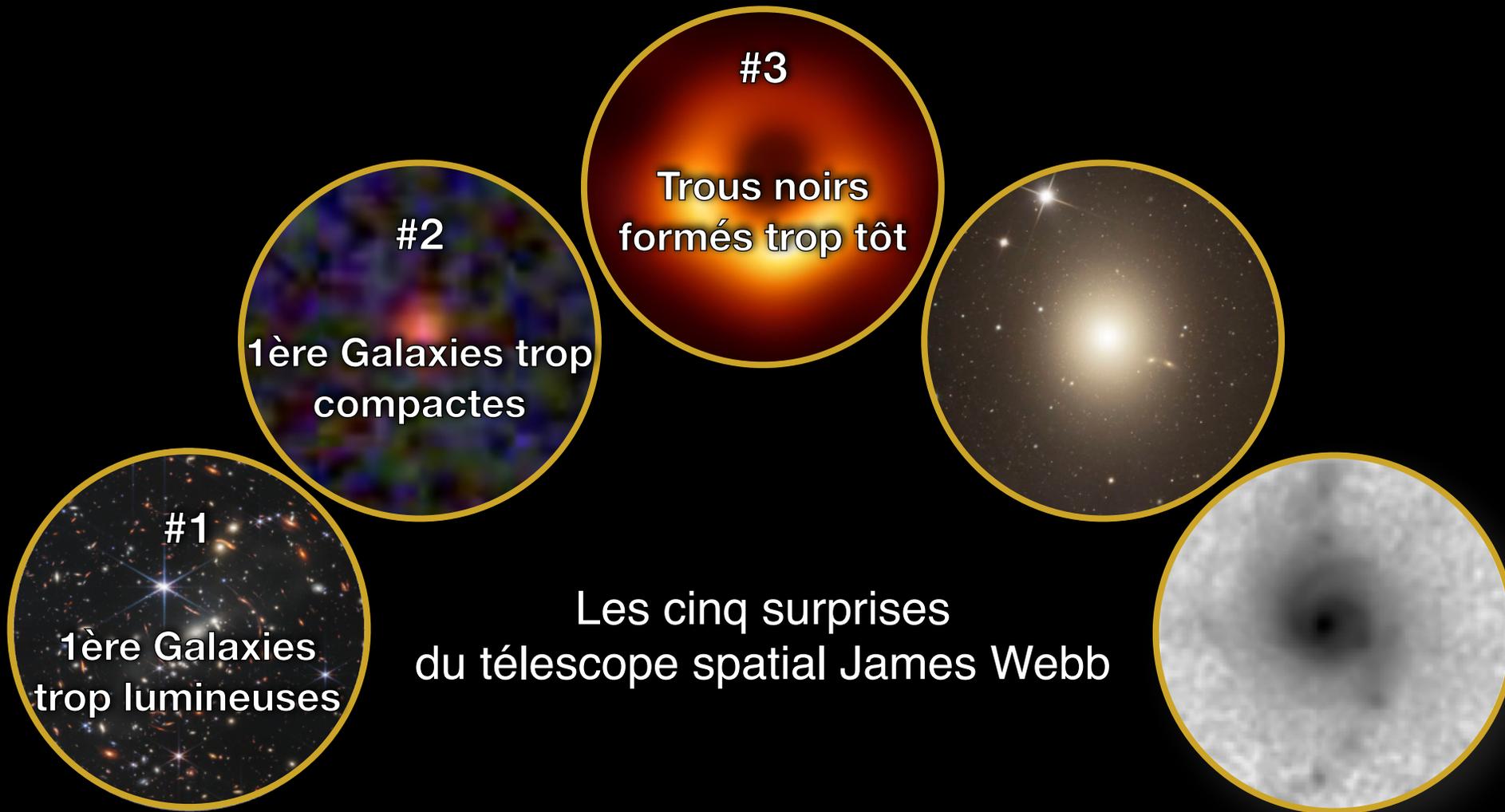
*“La densité de formation d'étoiles dans ces galaxies rivalise avec celle des galaxies les plus extrêmes de notre univers local”*

## Origines possibles :

- Intense accrétion de gaz
- Moindre importance des fusions ?



# Les surprises du JWST !



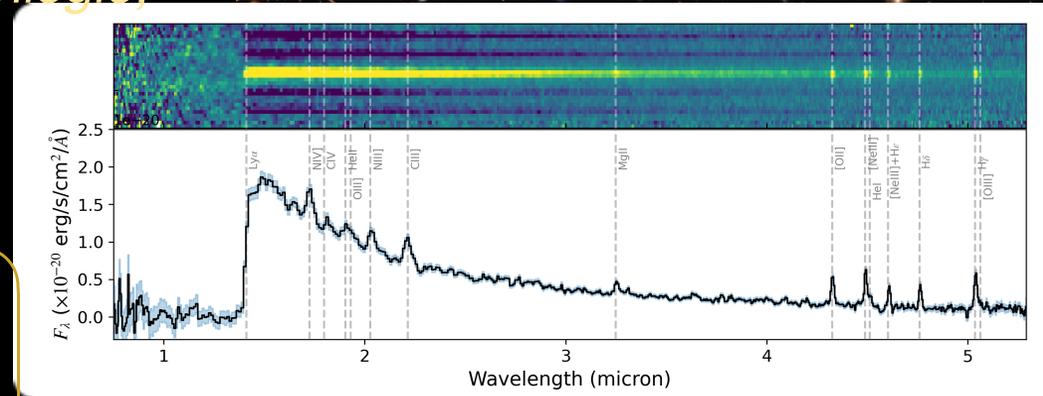
# #3 Des trous noirs super-massifs !

Signature d'un trou noir de 1.6 millions de masse solaire (!) éjectant de la matière à 1000 km/s, ~400 millions d'années après le Big Bang

*“Il semble impossible que ce type de trou noir se soit formé selon le scénario jusqu'ici privilégié, c-à-d par collapse stellaire”*

## Origines possibles :

- Collapse direct de 10 000  $M_{\text{soleil}}$  !
- ??



GN-z11

# Les surprises du JWST !



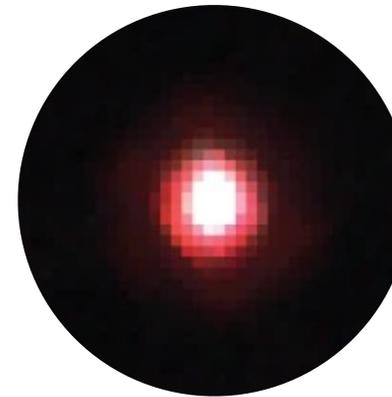
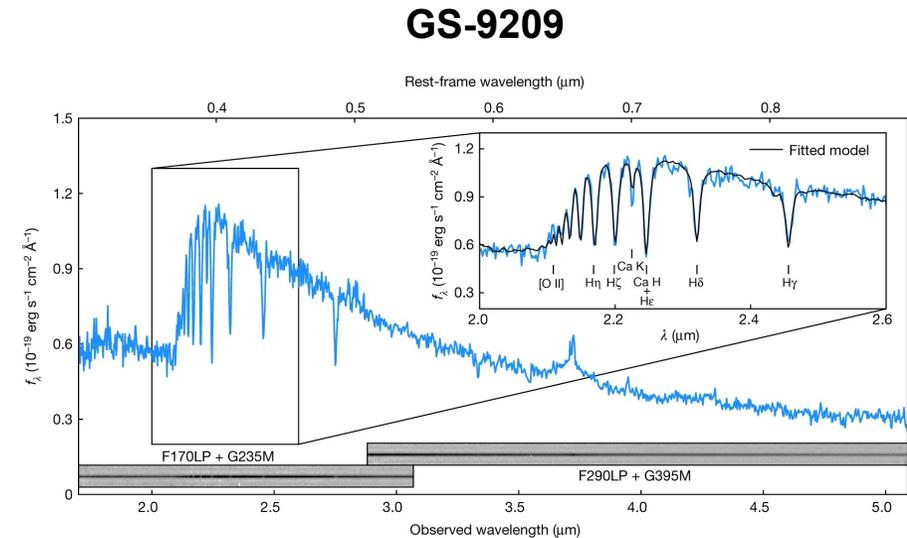
# #4 Des galaxies mortes trop tôt

Une abondance surprenante de galaxies massives “mortes” seulement 1 milliard d’années après le Big Bang

“Des ingrédients clés, capables de donner lieu à des événements d’extinction extrêmement rapides, sont toujours absents des simulations”

## Origines possibles :

- Arrêt soudain de l’accrétion de gaz
- ??



Date de naissance :

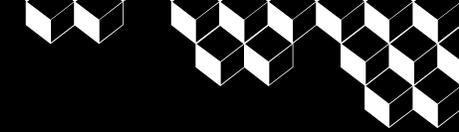
... 600 Mil. d’années après le Big Bang

Durée de vie :

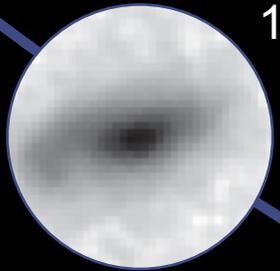
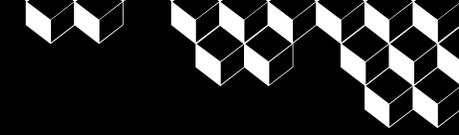
... 200 Mil. d’années

... observée 300 Mil. d’années après

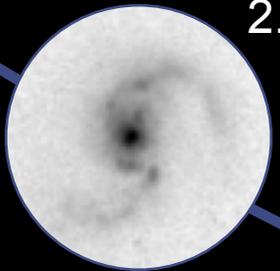
# Les surprises du JWST !



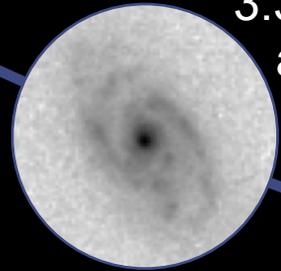
# #5 Des galaxies spirales déjà en place !



1.5 milliards d'années  
après le Big Bang



2.6 milliards d'années  
après le Big Bang



3.3 milliards d'années  
après le Big Bang



13.8 milliards d'années  
après le Big Bang

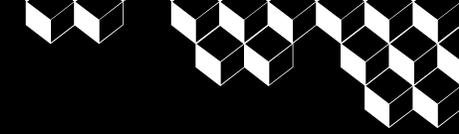
Les galaxies spirales sont déjà en place  
~1 milliard d'années après le Big Bang,  
malgré le nombre attendu de fusion de  
galaxies détruisant ceux-ci

*“La forte densité de gaz dans ces galaxies  
semble permettre la reformation rapide des  
disques après un épisode de fusion de galaxies”*

# Les surprises du JWST !



# Les surprises du JWST !



#1  
1ère Galaxies trop lumineuses

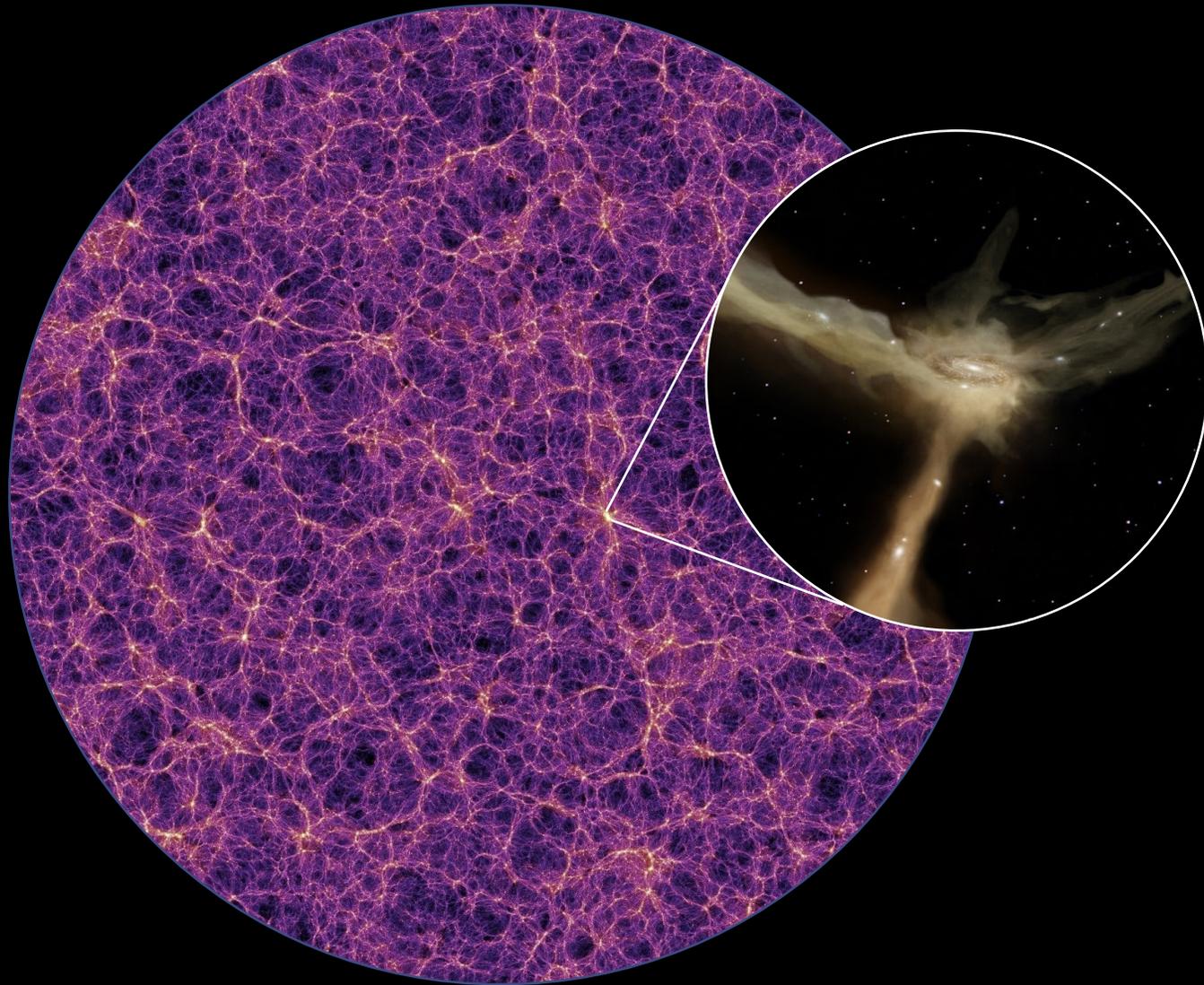
#2  
1ère Galaxies trop compactes

#3  
Trous noirs formés trop tôt

#4  
Galaxies mortes trop tôt

#5  
Galaxies spirales formées trop tôt

# Les surprises du JWST !

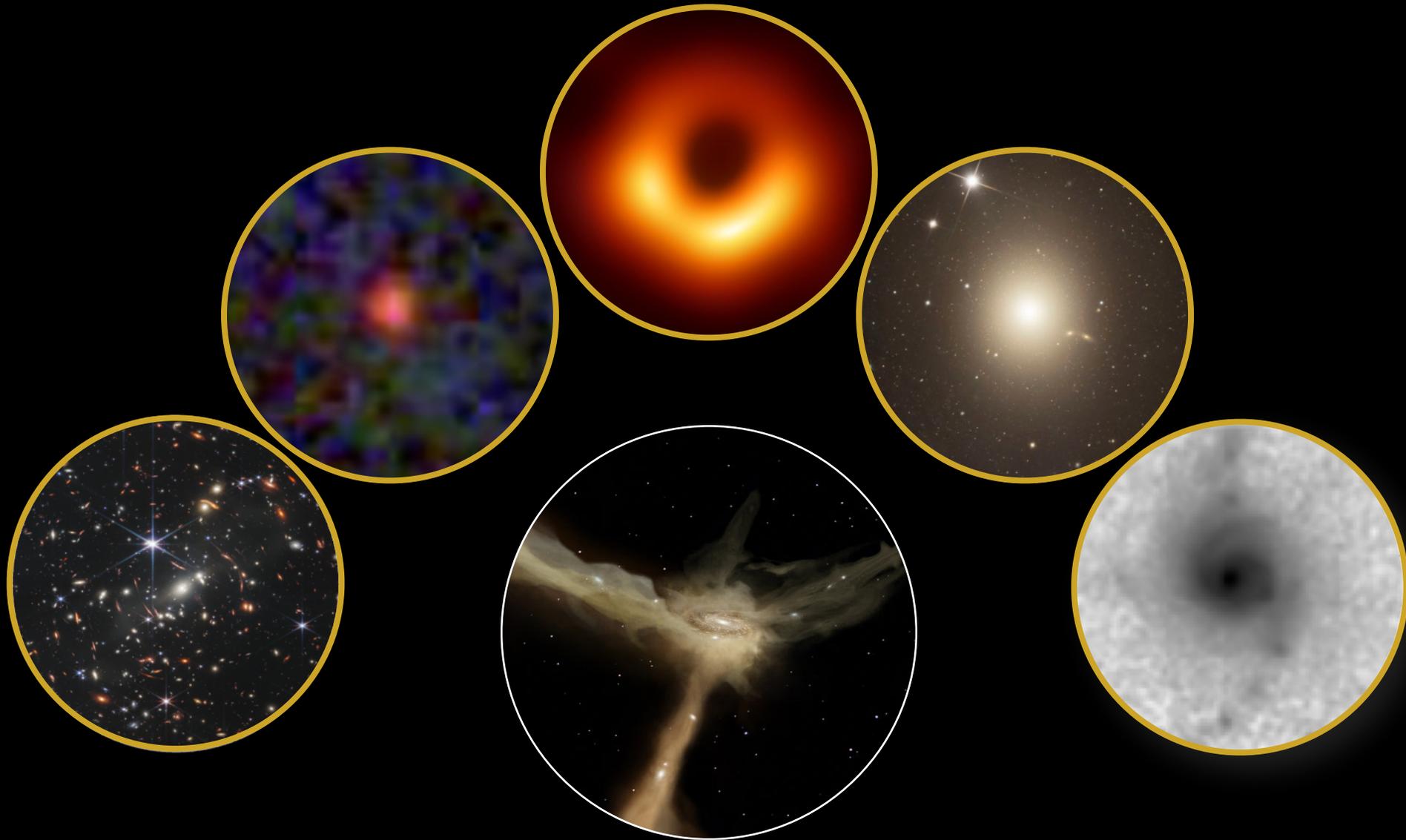


Seuls 10% des atomes sont dans les galaxies, 90% se trouvent en dehors des galaxies ...

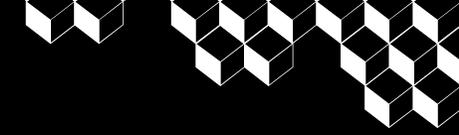
... les « baryons noirs »

La toile cosmique

# Les surprises du JWST !

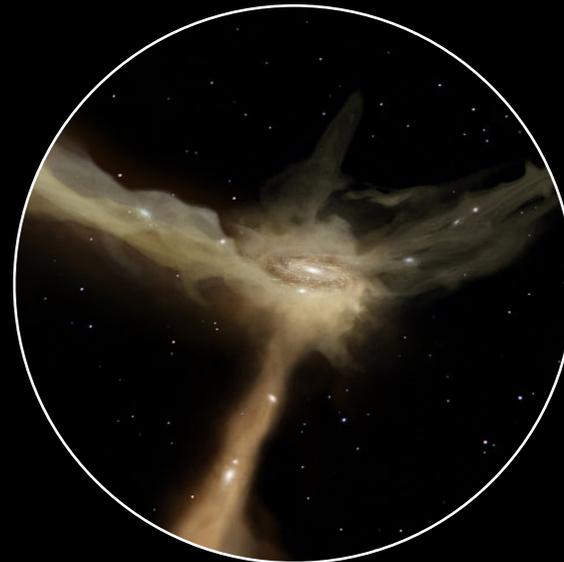


# Les surprises du JWST !



## La convergence des flux d'accrétion crée :

Des flambées d'étoiles avant  
qu'elles aient le temps  
d'explorer en supernovae



# Les surprises du JWST !

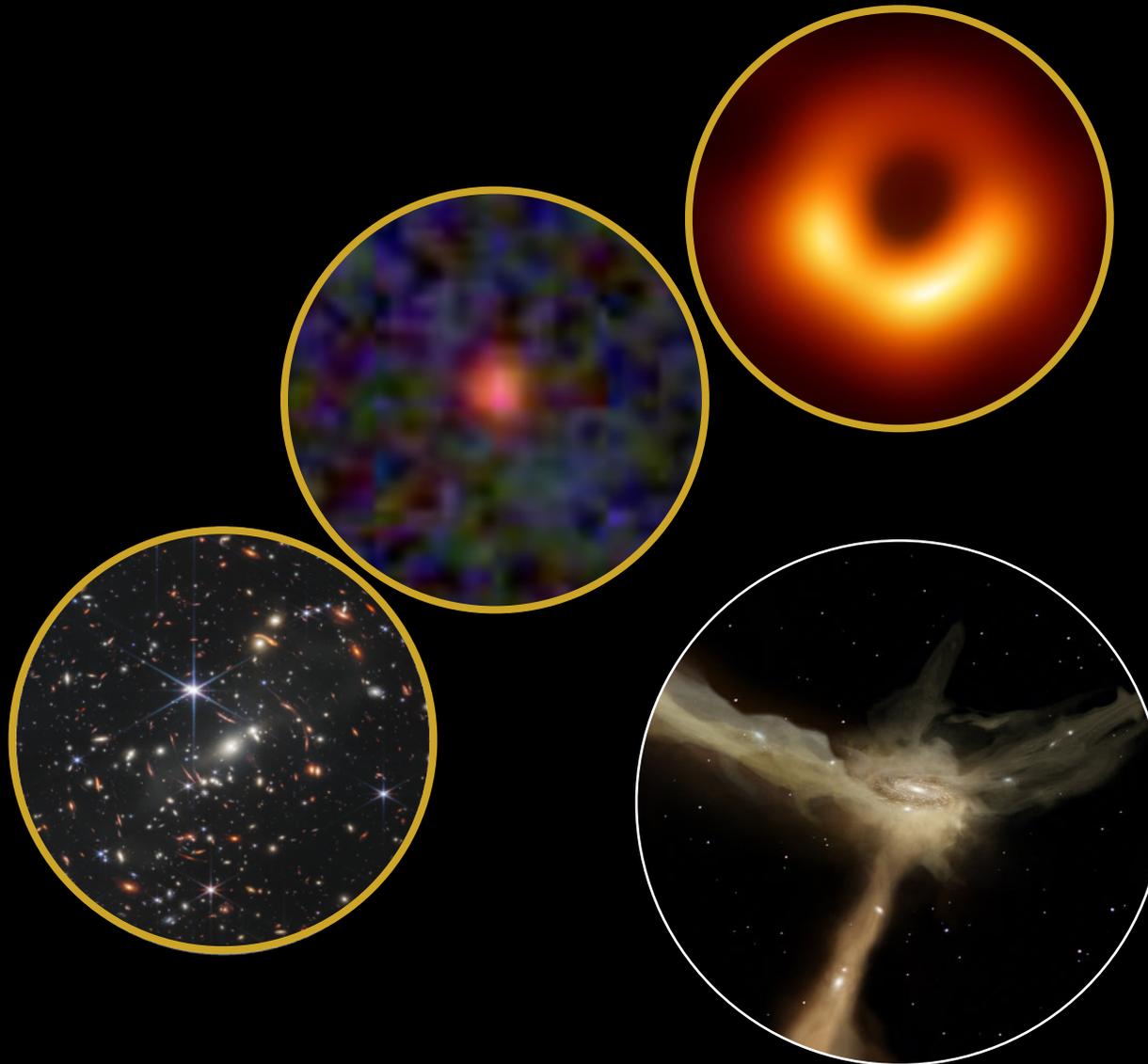


**La convergence des flux  
d'accrétion crée :**

Une grande concentration de  
matière qui rend les germes  
des galaxies compactes



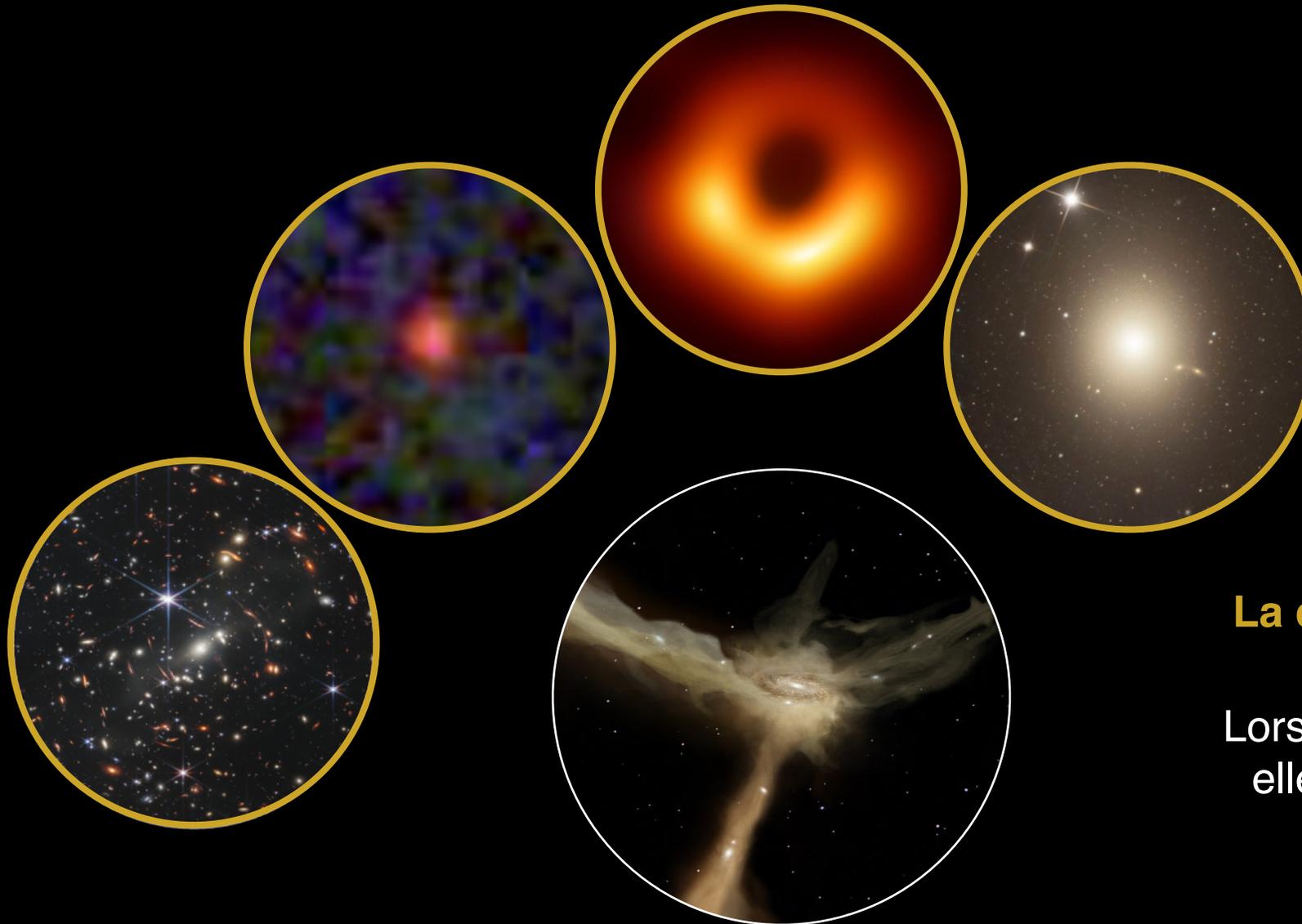
# Les surprises du JWST !



## La convergence des flux d'accrétion crée :

Une grande concentration de  
matière qui rend les germes des  
galaxies compactes et accélère  
la naissance des trous noirs  
supermassifs

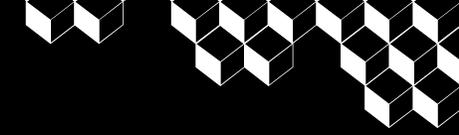
# Les surprises du JWST !



**La convergence des flux  
d'accrétion crée :**

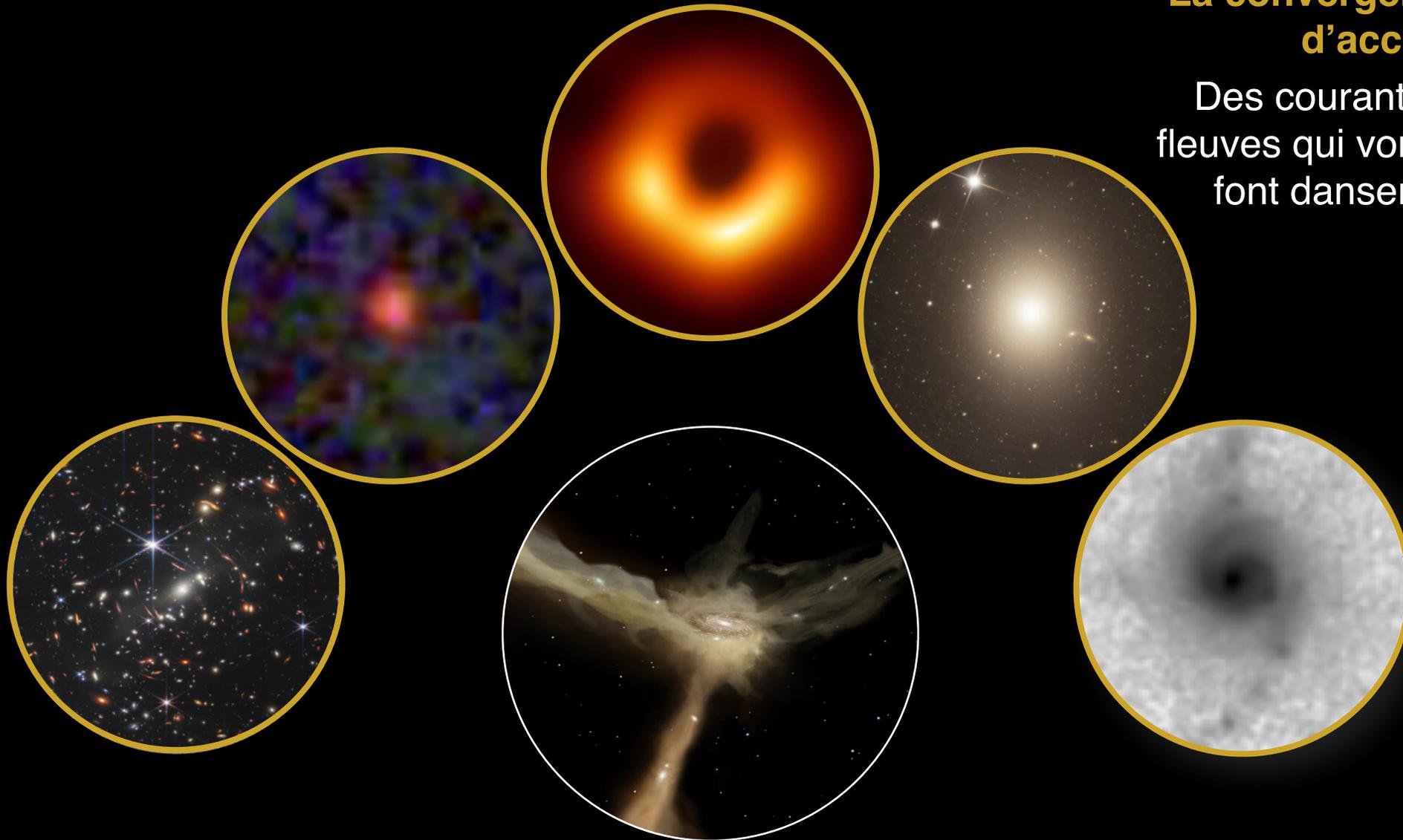
Lorsqu'une galaxie grossit,  
elle brise les filaments, et  
devient stérile

# Les surprises du JWST !

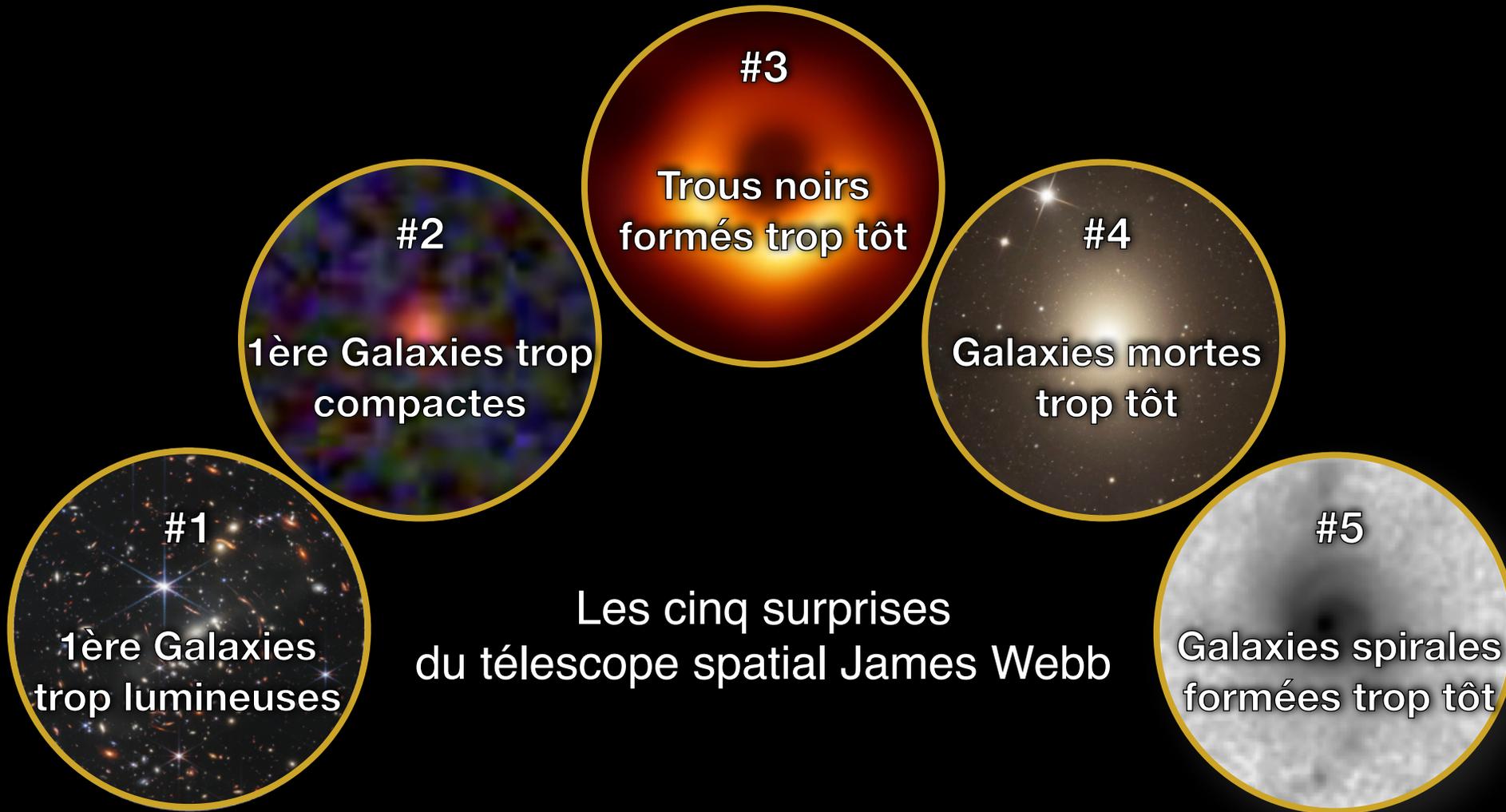


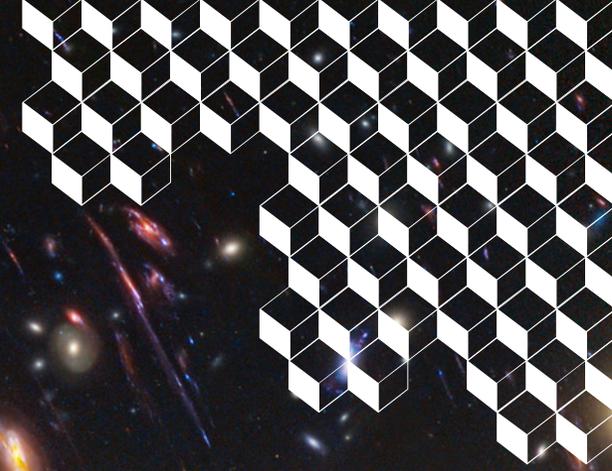
**La convergence des flux  
d'accrétion crée :**

Des courants comme les  
fleuves qui vont à la mer et  
font danser les galaxies



# Les surprises du JWST !





irfu



**Merci**

**CEA SACLAY**

91191 Gif-sur-Yvette Cedex

France

[Benjamin.Magnelli@cea.fr](mailto:Benjamin.Magnelli@cea.fr)

+ 33 1 69 08 68 25