



UNIVERSITÉ
DE GENÈVE
FACULTÉ DES SCIENCES
Département d'astronomie

Cosmologie

Corinne Charbonnel & Stéphane Paltani
Professeur.e.s au Département d'Astronomie UniGE

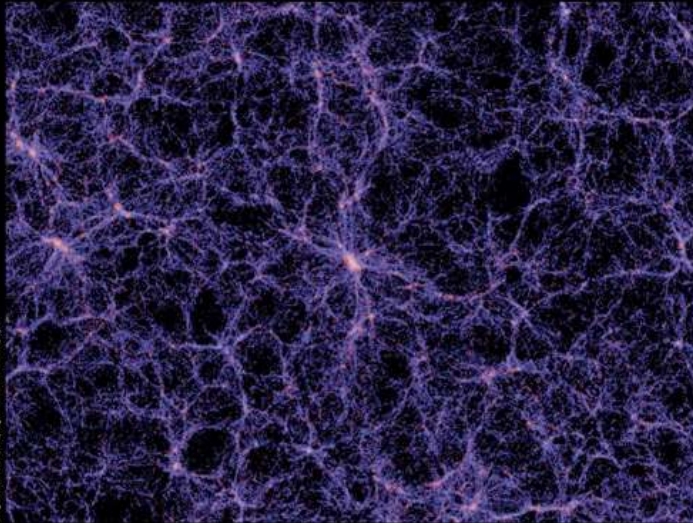


Image : Ochi, MPA, V. Springel/Max Planck Institute for Astrophysics

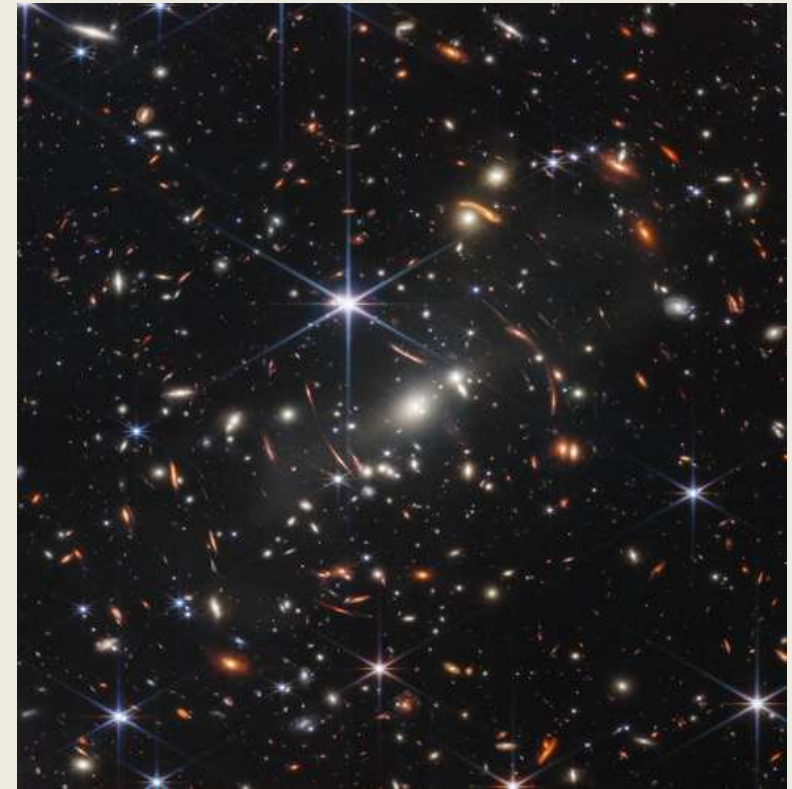
le mardi, du 19 septembre au 19 décembre 2023
de 17h45 à 18h45
Auditoire A300 - Sciences II, 30 quai Ernest-Ansermet, Genève

Inscription au cours sur place le 19 septembre
Renseignements : <http://unige.ch/sciences/astro>

Cours 10 – 28 novembre 2023

Les premières galaxies vues par JWST

Avec l'aide du prof. Pascal Oesch et du prof. Daniel Schaerer



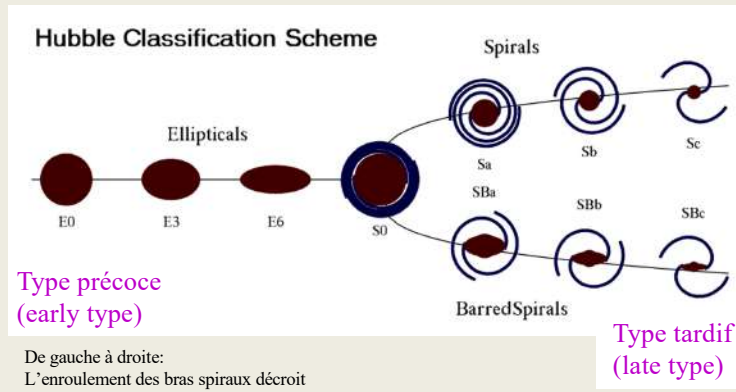
JWST – 12 juillet 2022
Credits: NASA, ESA, CSA, STScI

<https://mediaserver.unige.ch/play/207408>

C.Charbonnel – Cours UniGe 1051 – 20231128

1909: Classification descriptive de Wolf
 1936 – 1937 : Hubble & Reynolds

Mais il ne s'agit pas
 d'une séquence évolutive
 (ou alors, inversée)

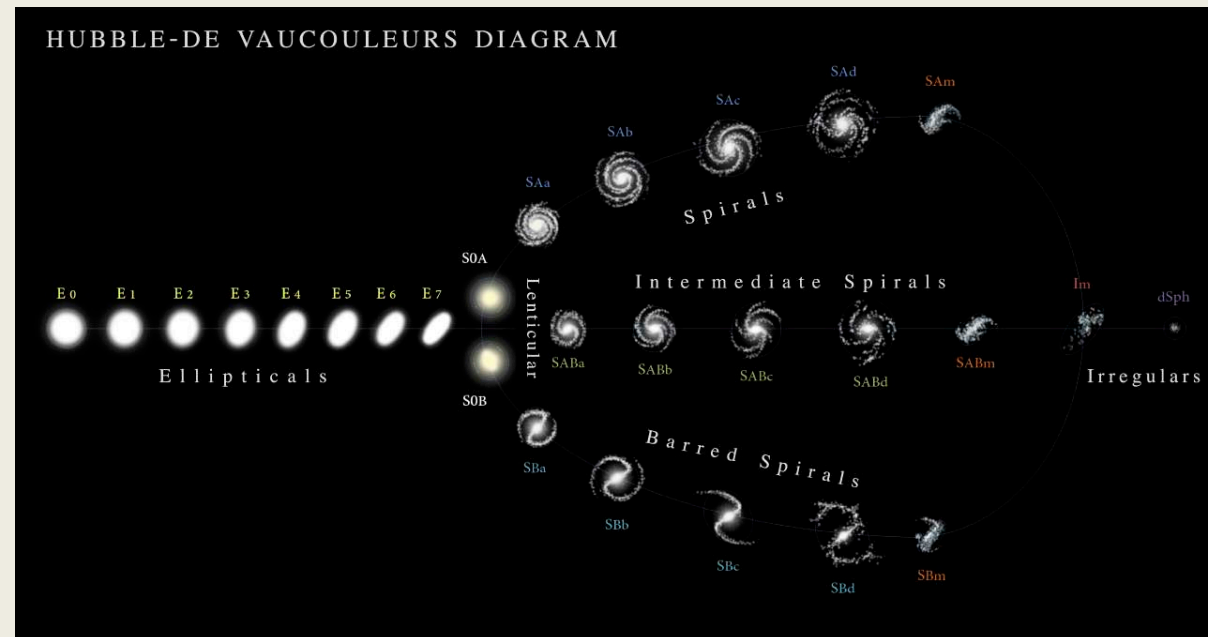


Classification morphologique des galaxies

Purement descriptive, basée sur les propriétés dans l'optique/bleu,
 sur la base de composantes lumineuses facilement repérables depuis la Terre
 → Classifications dominées par certaines composantes des galaxies

1959 : de Vaucouleurs
 (Barre centrale, anneau, bras spiraux)

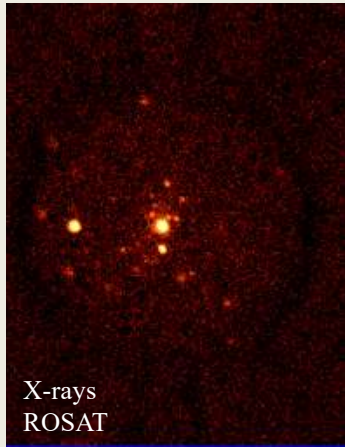
Localement:
 Elliptiques ~ 30 %
 Spirales ~ 67 %
 Irrégulières ~ 3%



Hubble 1926, Ap.J., 64, 321
 Hubble 1936, Realm of the Nebulae
 Sandage 1961, the Hubble Atlas of Galaxies
 Sandage 1975, in Stars and Stellar Systems IX. Galaxies and the Universe
 Sandage & Tammann 1981, A Revised Shapley-Ames Catalog of Bright Galaxies

Le contenu des galaxies

M81 à différentes longueurs d'onde



X-rays
ROSAT

Sources haute énergie
(noyau central, binaires X,
objets compacts)



UV
GALEX

Etoiles massives, jeunes, bleues
Formation stellaire récente



Visible
Kitt Peak



Proche IR
2MASS

Etoiles géantes, vieilles, rouges
Formation stellaire ancienne



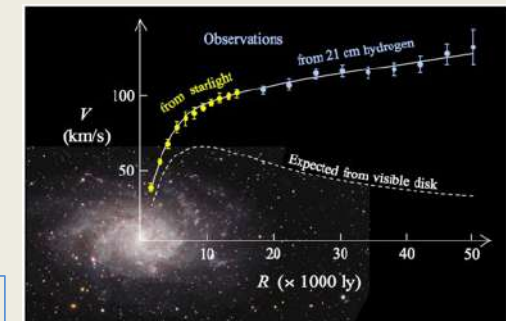
IR lointain
Spitzer

Gaz, poussières
Formation stellaire enfouie

Une galaxie contient:

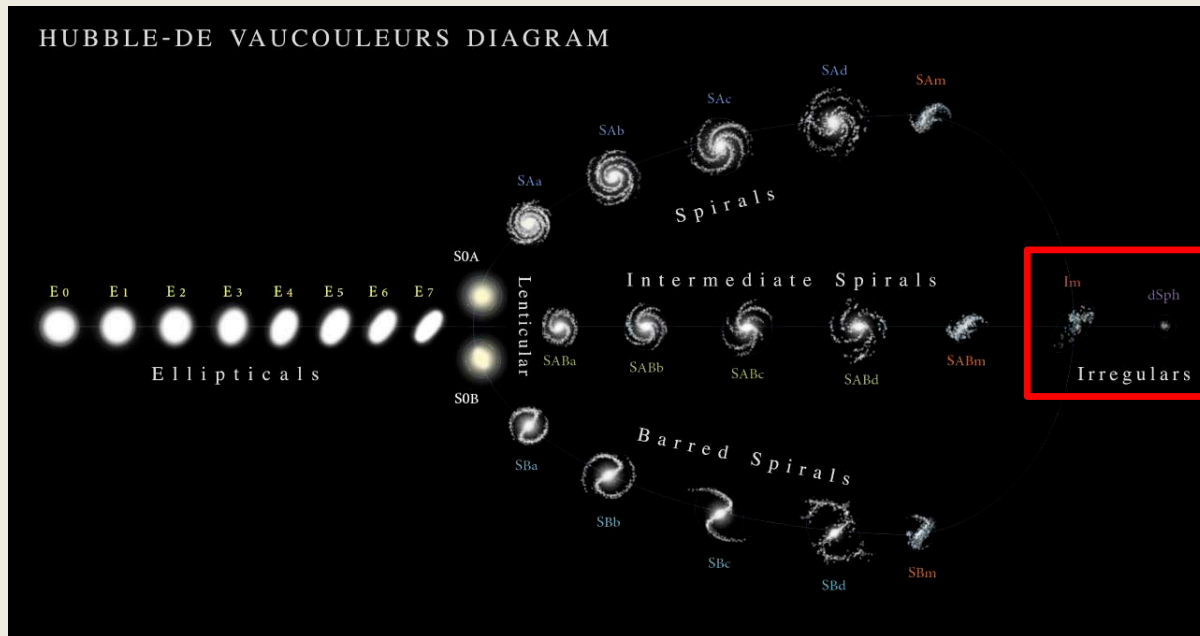
- Etoiles
- Poussière et particules (électrons, protons) relativistes
- Gaz atomique et moléculaire (principalement hydrogène)
- Matière sombre

Matière noire



Classification morphologique des galaxies

Galaxies irrégulières : La plupart sont des galaxies naines – 1 à 10 kpc – 10^6 à $10^9 L_{\odot}$
Riches en gaz ($M_{\text{gaz}}/M_{*} > 10 - 30 \%$), formation d'étoiles
Très riches en étoiles jeunes bleues ($\sim 10^6$ à 10^9 ans)
Population moindre d'étoiles vieilles



Classification morphologique des galaxies

Galaxies spirales : 5 à 50 kpc – 10^8 à $10^{10} L_{\odot}$

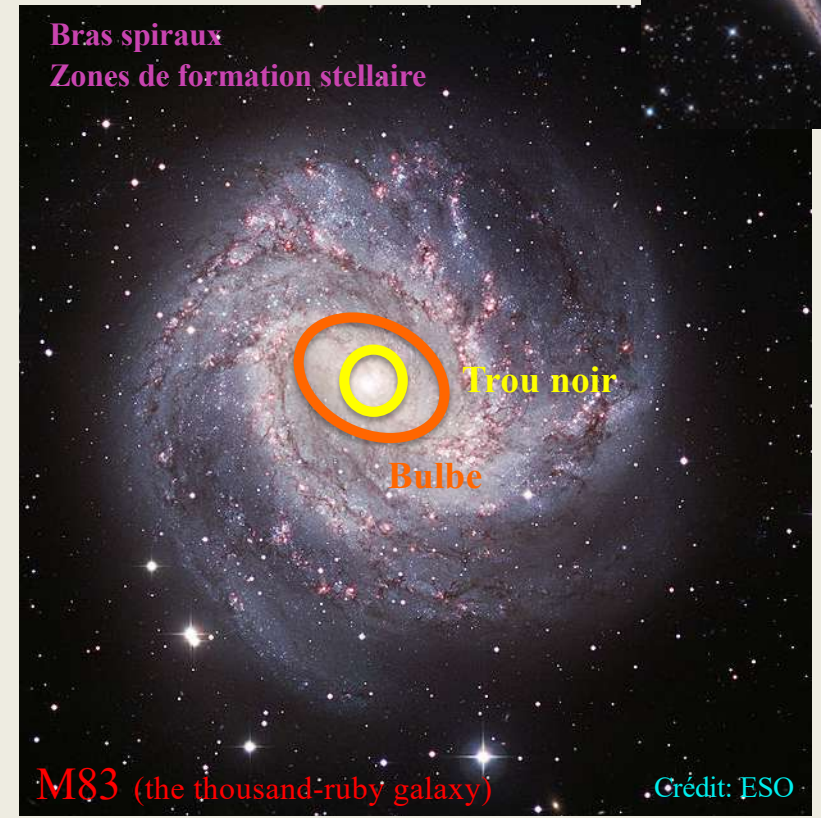
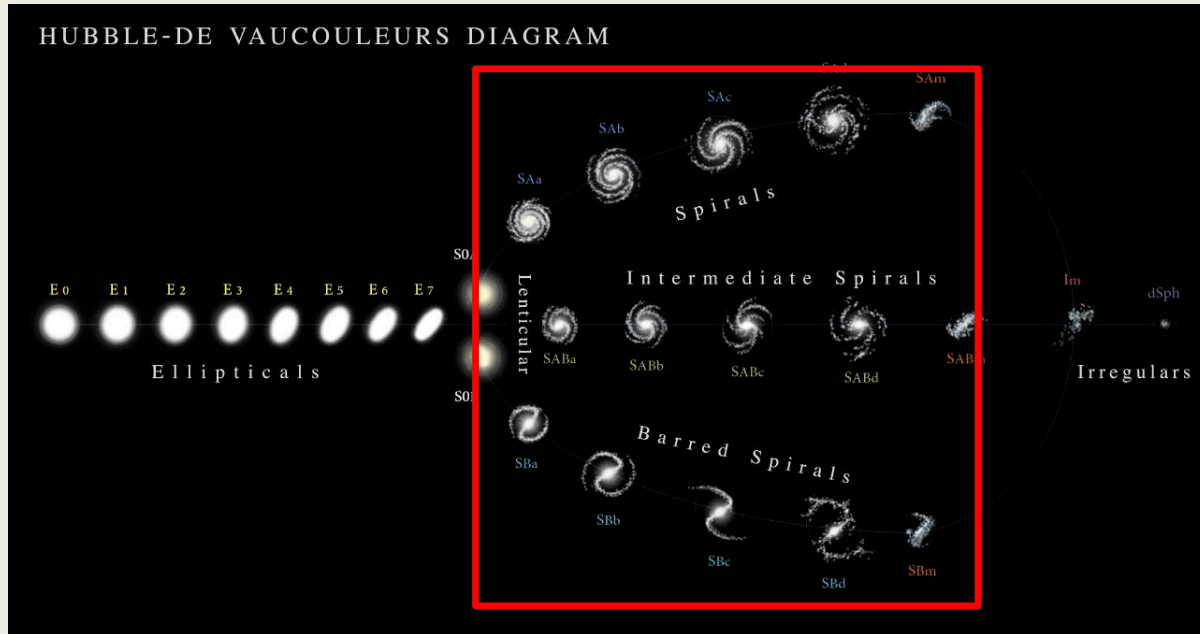
Riches en gaz ($M_{\text{gaz}}/M_* > 1$ à 10 %), formation d'étoiles

Bras spiraux : formation d'étoiles et présence d'étoiles jeunes bleues ($< 10^9$ ans)

Disques : étoiles relativement vieilles ($> 10^9$ ans)

Bulbe : vieilles étoiles rouges ($\gg 10^9$ ans) peu ou pas de gaz

Trou noir super massif central (Voie Lactée: ~ 4 millions de masses solaires)



M83

Galaxie spirale « à flambées d'étoiles »

Structure similaire à la Voie Lactée, mais plus petite

M83 (the thousand-ruby galaxy)

Crédit: ESO

Classification morphologique des galaxies

Galaxies elliptiques : 1 à 150+ kpc – 10^6 à $10^{11} L_{\odot}$

Pas (ou peu) de gaz et de poussière (pas de formation importante d'étoiles)

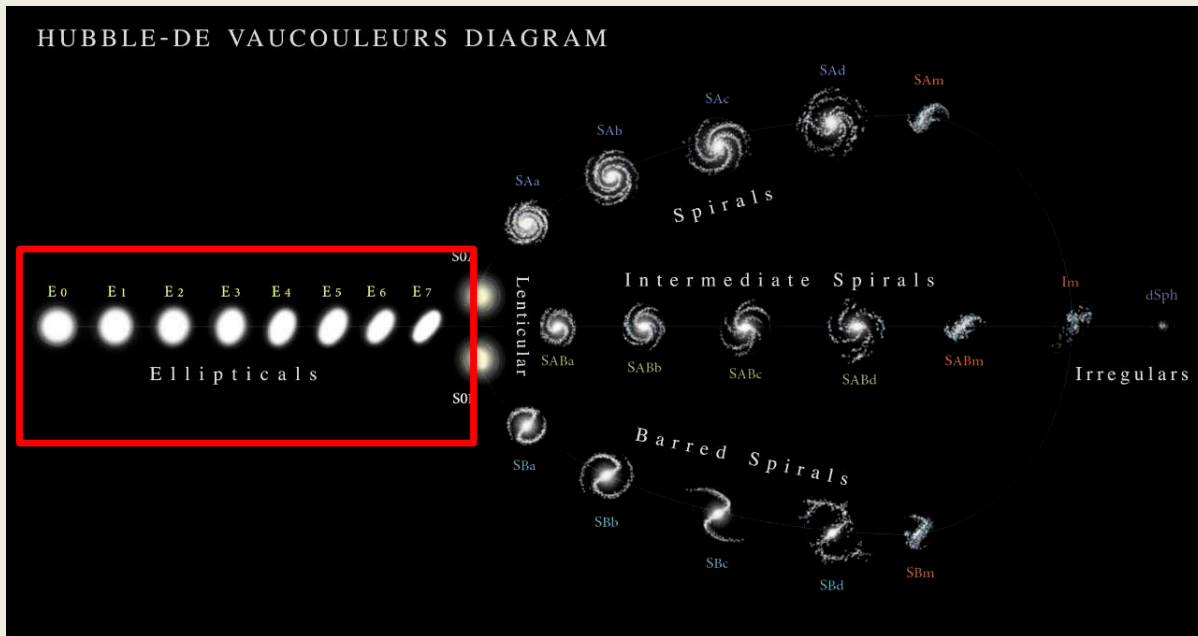
Vieilles étoiles rouges et froides ($\gg 10^9$ ans)

Bulbe important, pas de disque (E0 à E9 selon l'aplatissement)

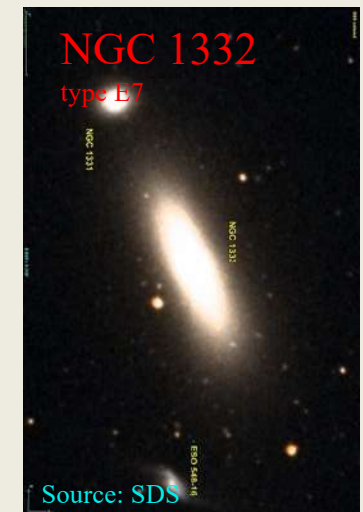
Pas de structure dans la distribution de brillance

Pas forcément en rotation (mouvement interne des étoiles chaotique)

En très grand nombre dans les amas de galaxies



Galaxie elliptique géante
La plus grande et la plus lumineuse de l'amas de la Vierge
R ~ 490'000 a.l.
Etoiles ~ 1/6 M totale
12'000 amas globulaires
Trou noir super-massif (noyau actif)

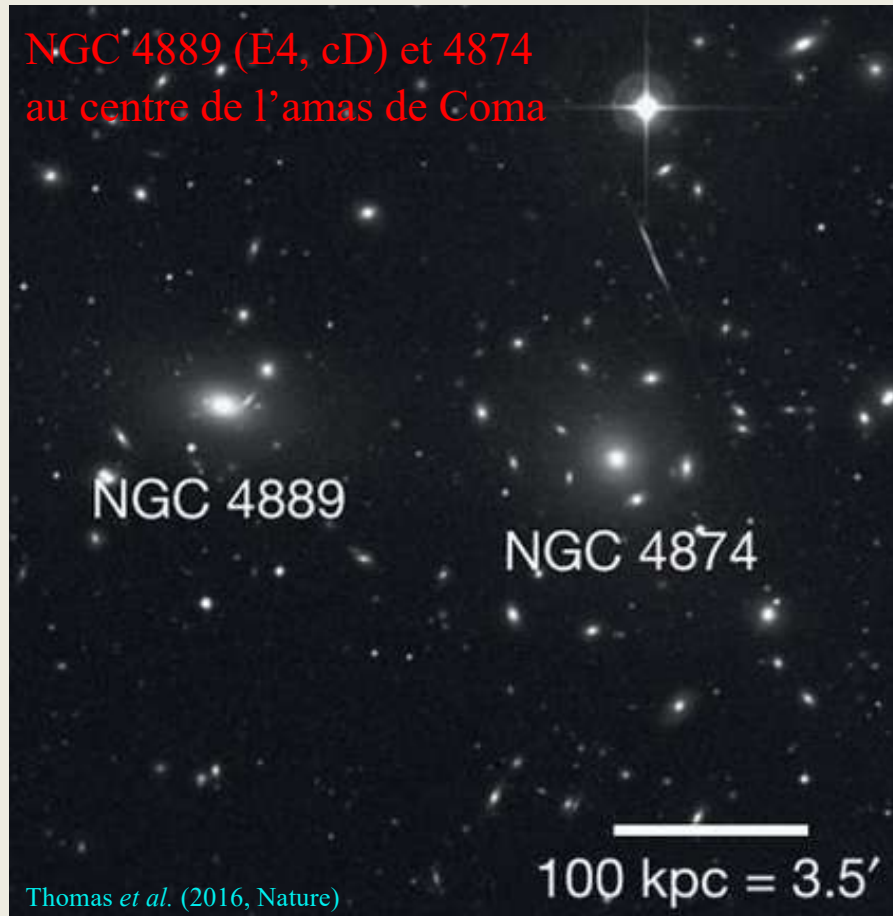


Classification morphologique des galaxies

Galaxies elliptiques géantes :

Au centre des amas de galaxies

NGC 4889 (E4, cD) et 4874
au centre de l'amas de Coma



Thomas *et al.* (2016, Nature)

Distance ~ 100 Mpc ($\sim 300 \times 10^6$ a.l.)

NGC 4889 (E4)

Galaxie la plus brillante et la plus massive
de l'amas de Coma

$\sim 15 \times 10^{12} M_{\text{sun}}$

$\odot \sim 75$ kpc (240'000 a.l.)

+ halo ~ 3 x plus étendu

Trou noir super-massif $\sim 2 \times 10^{10} M_{\text{sun}}$

~ 5000 x M(trou noir MW)

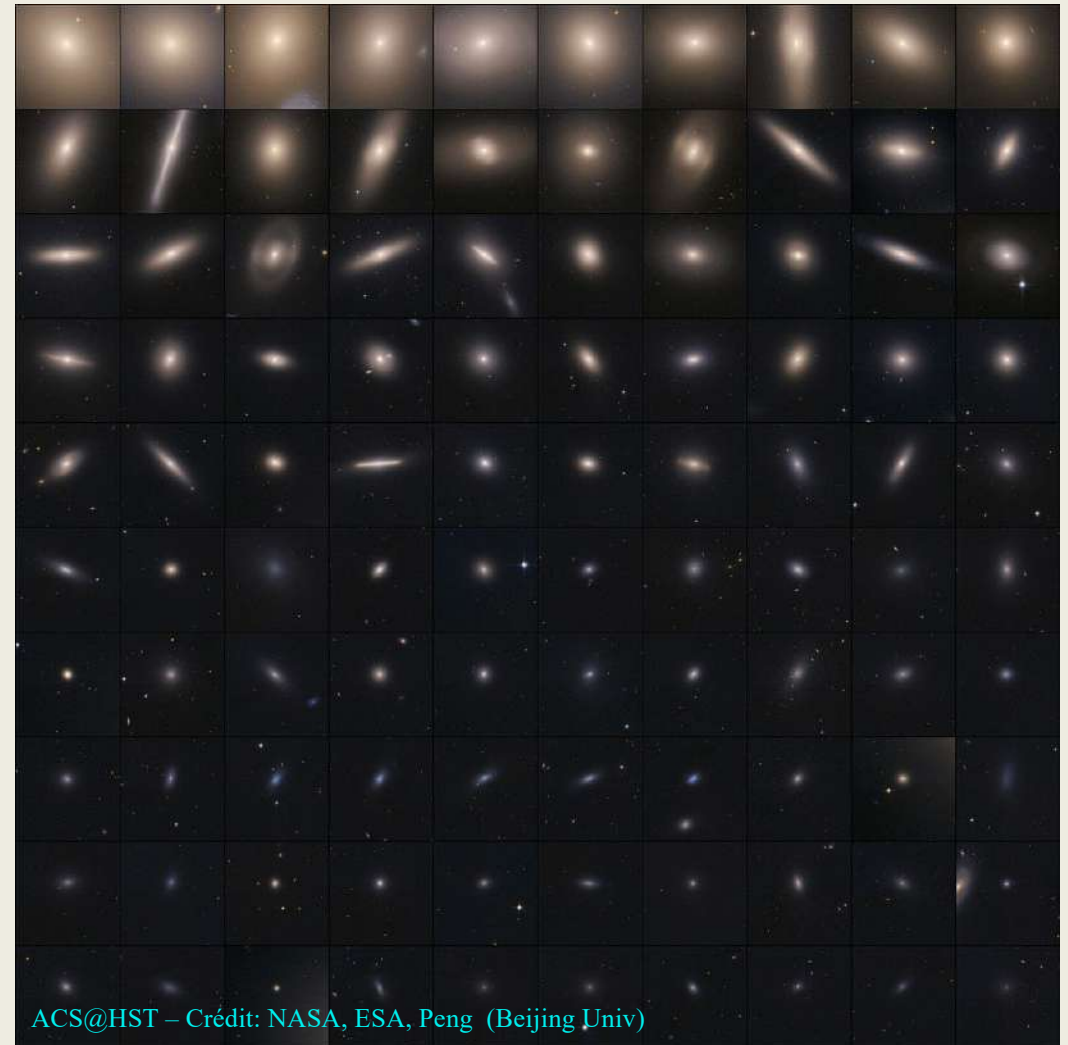
Résultat de la fusion de plusieurs galaxies ?

Virgo – Amas de la Vierge

À ~ 17 Mpc (50 millions a.l.) – Diamètre ~ 15 millions a.l.
~ 2000 galaxies (~ 90 % naines) ~ 120'000 milliards de M_{\odot}
Amas riche → Dominé au centre par elliptiques et lenticulaires
En formation → Nombre important de spirales et irrégulières
~ 10% d'étoiles intergalactiques



Partie centrale de Virgo
Crédit: C.Mihos (Case Western Reserve University) & ESO – Partie centrale de Virgo



ACS@HST – Crédit: NASA, ESA, Peng (Beijing Univ)

L'origine des galaxies les plus brillantes des amas

Modèle cosmologique de formation hiérarchique – Simulations à N-corps d'un amas de galaxies
→ Evolution morphologique et cannibalisme galactique

144

DUBINSKI

Vol. 502

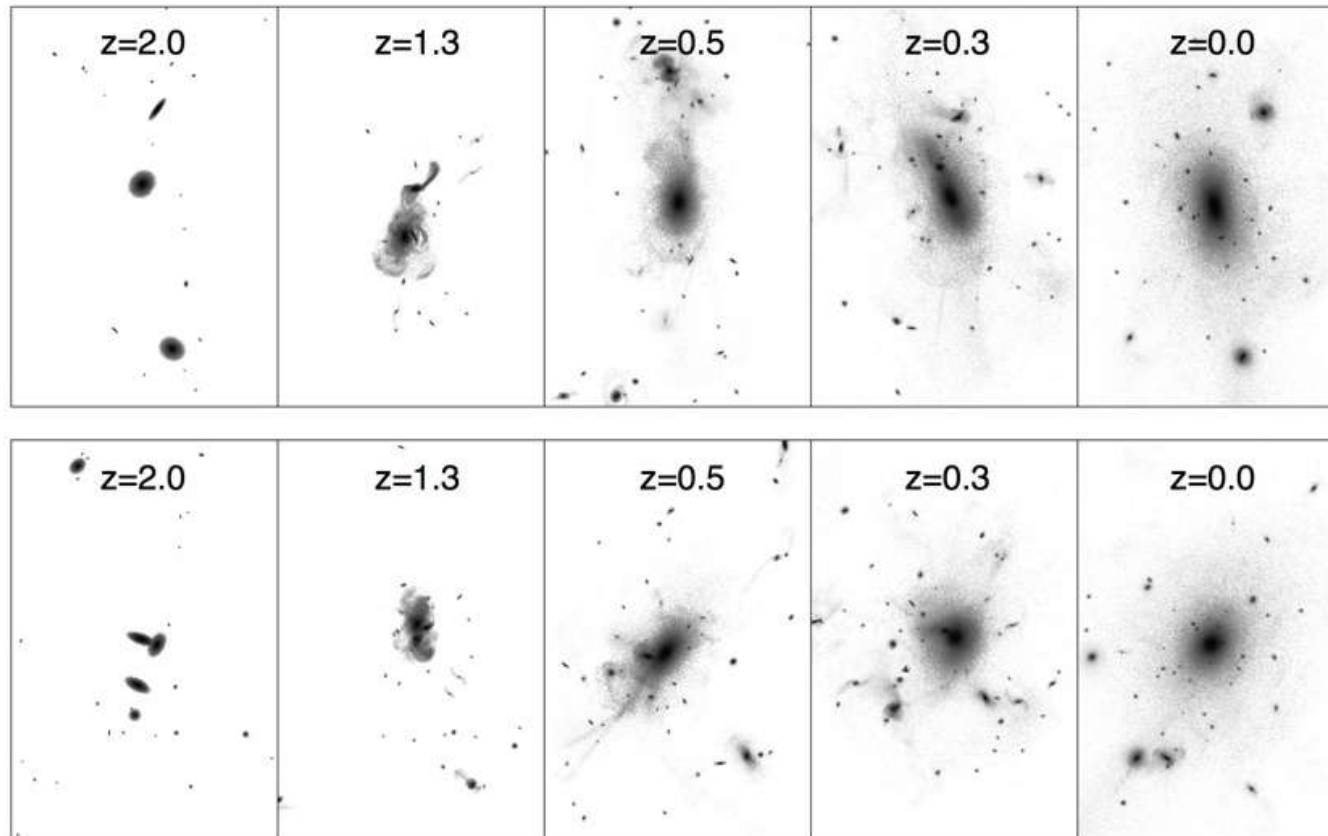


FIG. 3.—Snapshots of the evolution of the cluster and bright central galaxy. Each strip is 1 Mpc wide. The top strip shows the view perpendicular to the chain of three galaxies that fall together to make the BCG. The bottom strip shows the view looking approximately down the filament.²

L'origine des galaxies les plus brillantes des amas

Modèle cosmologique de formation hiérarchique – Simulations à N-corps d'un amas de galaxies
→ Evolution morphologique et cannibalisme galactique

No. 1, 1998

ORIGIN OF BRIGHTEST CLUSTER GALAXIES

145

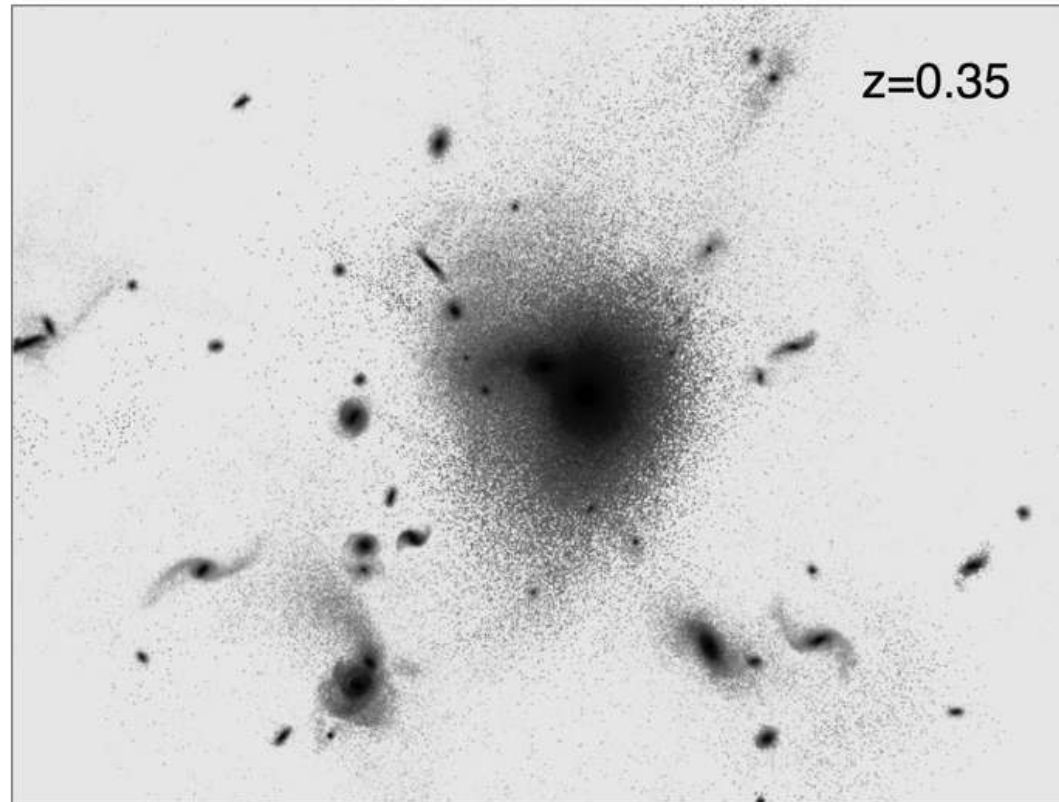
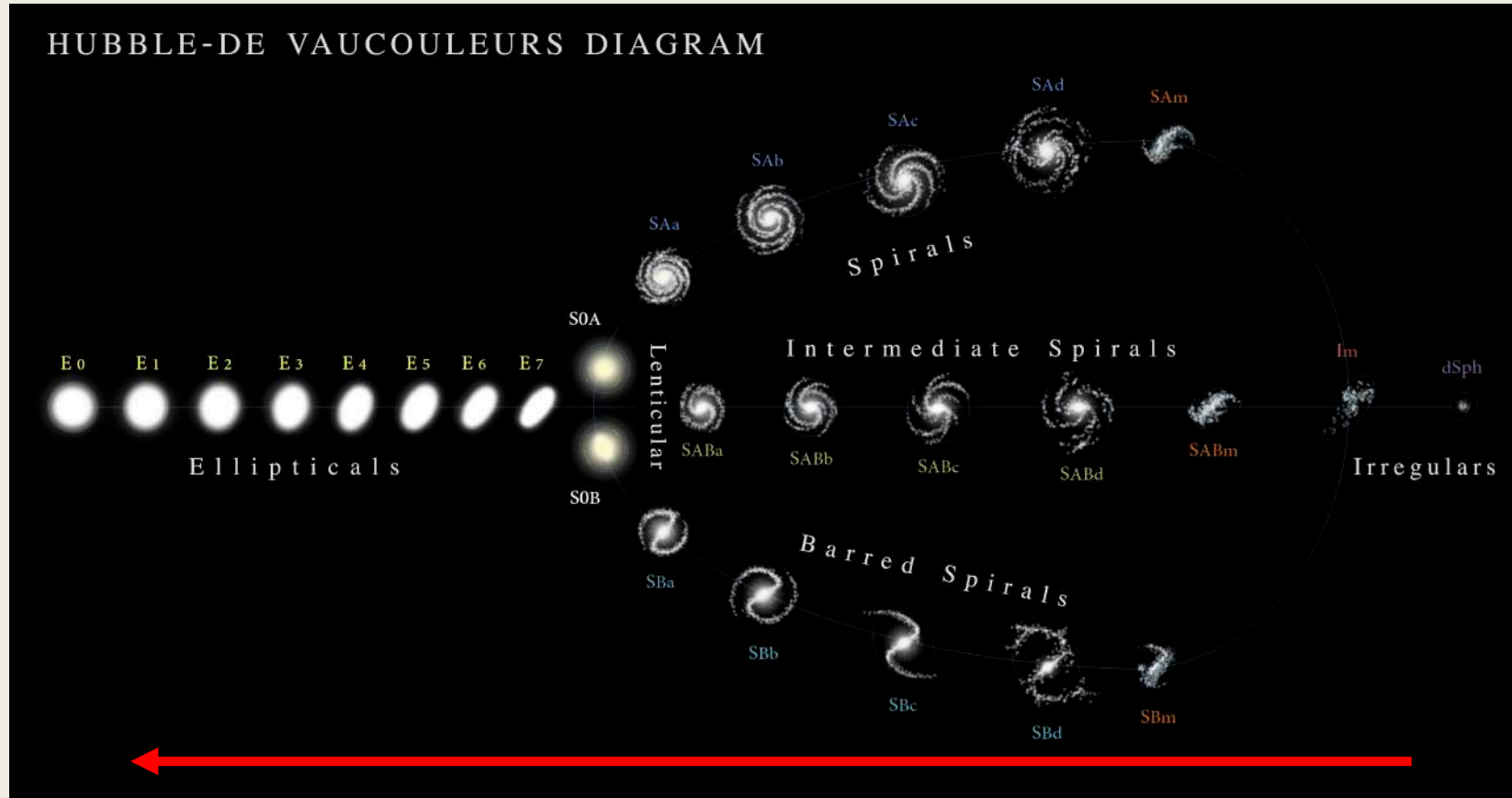


FIG. 4.—Close-up of the central region of the cluster at $z = 0.35$, during a very active phase of the collapse. The giant elliptical is undergoing a major merger, while various disk galaxies are throwing off tidal tails resulting from strong tidal interactions with the cluster center.

Classification morphologique des galaxies

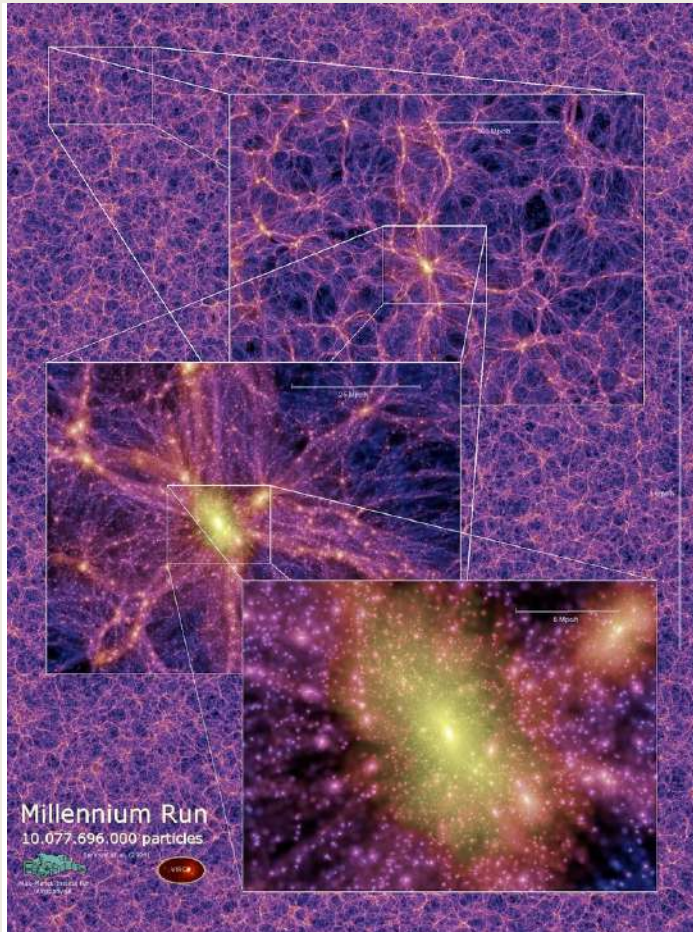


De droite à gauche:

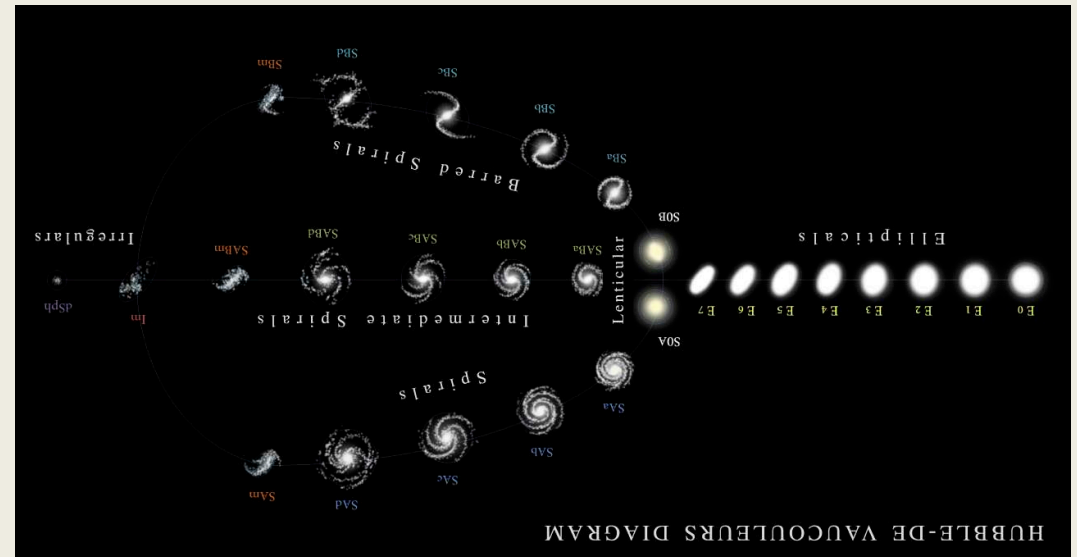
- La masse totale et la concentration de masse augmentent
- La fraction de gaz et le taux de formation d'étoiles diminuent
- Les galaxies renferment de plus en plus d'étoiles vieilles

Comment se forment et évoluent les galaxies?

Simple : seulement la gravitation



Complexe: Nombreux processus physiques

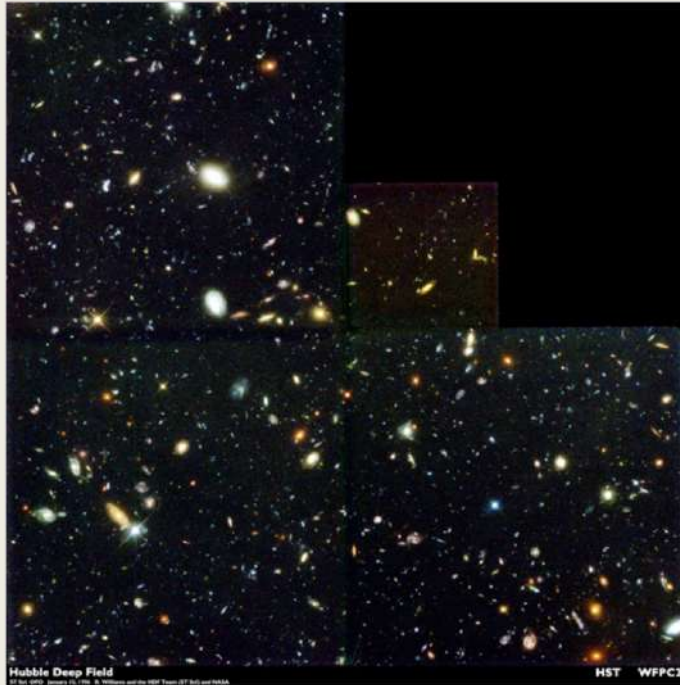


Aucune théorie complète

- ✓ Observations de galaxies à différents redshifts
- Evolution des propriétés au cours du temps
- ✓ Quête des premières galaxies

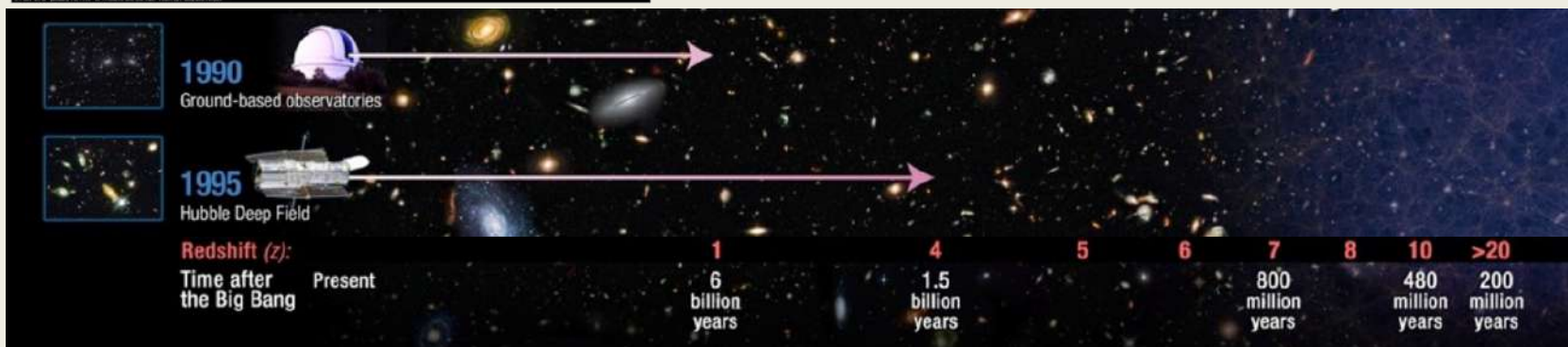
Hubble Deep Field

« Observer une région « vide » du ciel jusqu'à ce que les galaxies les plus lointaines finissent par apparaître »
Mark Dickinson à Robert Williams (1995 – 5 ans après le lancement de HST)

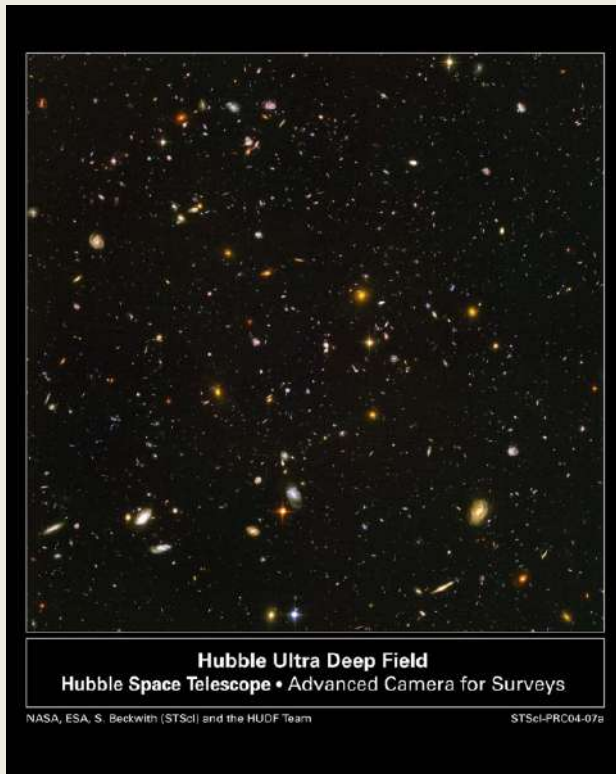


> 100 heures d'observation sur dix jours autour de Noël 1995
~ 3000 galaxies dans la pointe d'un stylo (constellation Ursa Major)

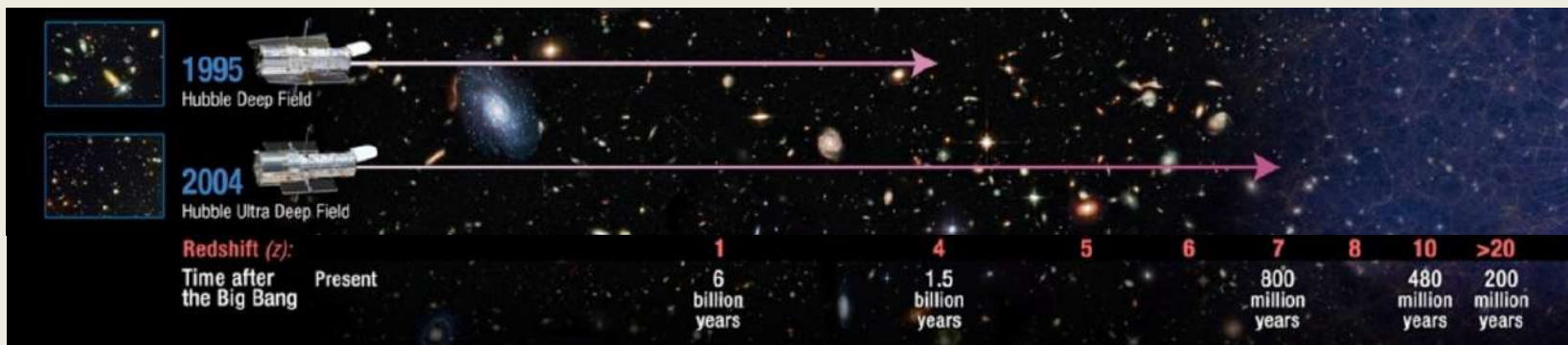
Pour étendre cette image à l'ensemble du ciel (30 millions de fois plus étendu),
Il faudrait observer pendant 2 millions d'années
→ ~ 100'000 milliards de milliards de galaxies



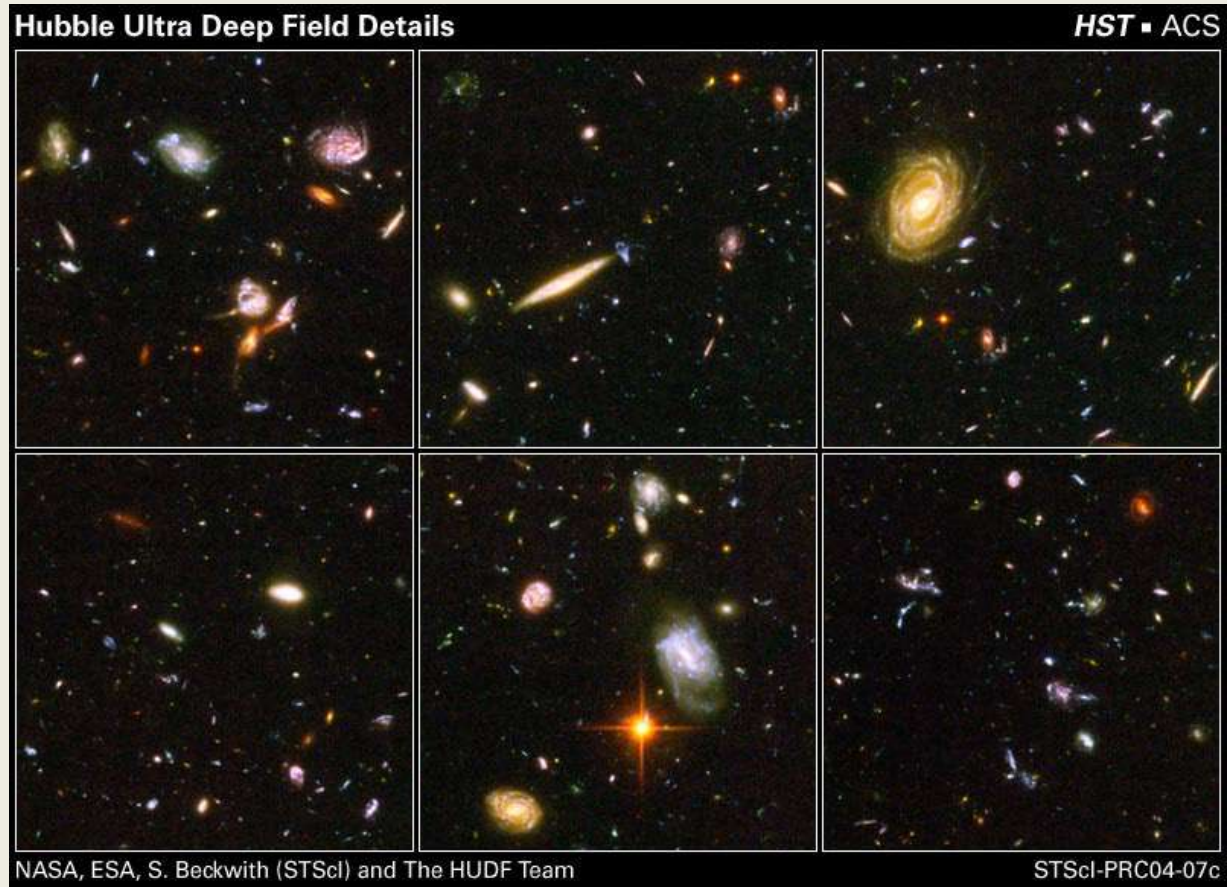
Hubble Ultra Deep Field



~ 1 million de secondes (11 jours, 800 pauses, 400 orbites) de septembre 2003 à janvier 2004
~ 10'000 galaxies
1/10^{ème} du diamètre angulaire de la lune vue depuis la terre
1/26 millionième du ciel



Hubble Ultra Deep Field

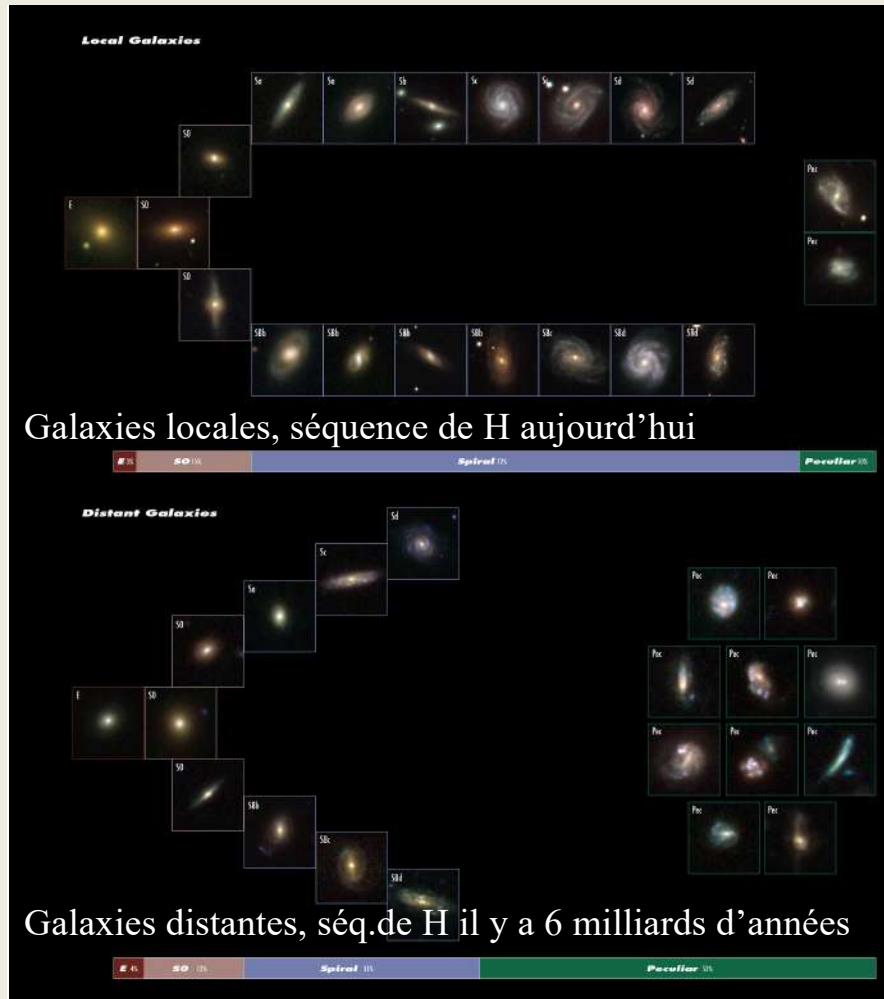


Evolution de la morphologie des galaxies

Les galaxies ne sont pas réparties sur la séquence de H de manière immuable.

Les galaxies continuent leur formation/évolution tout au long de l'âge de l'Univers soit (à la fois) par

- Interactions entre galaxies, fusions, accrétion
- Évolution séculaire (formation et évolution des étoiles, consommation et recyclage du gaz)

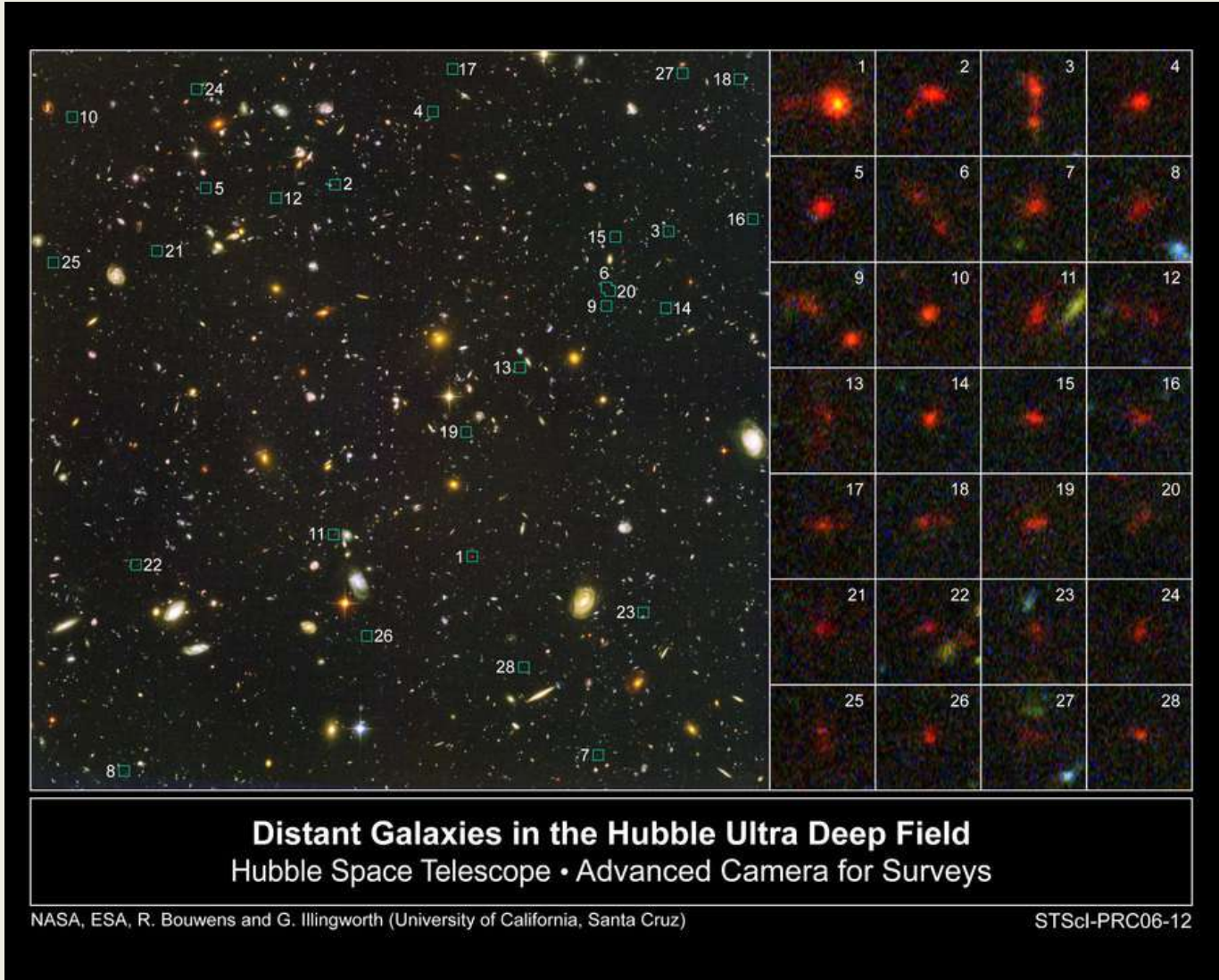


Crédit: Hammer et al. (2010)
Slide courtesy D.Schaerer

Galaxies les plus distantes dans le Hubble Ultra Deep Field

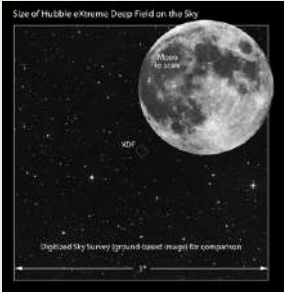
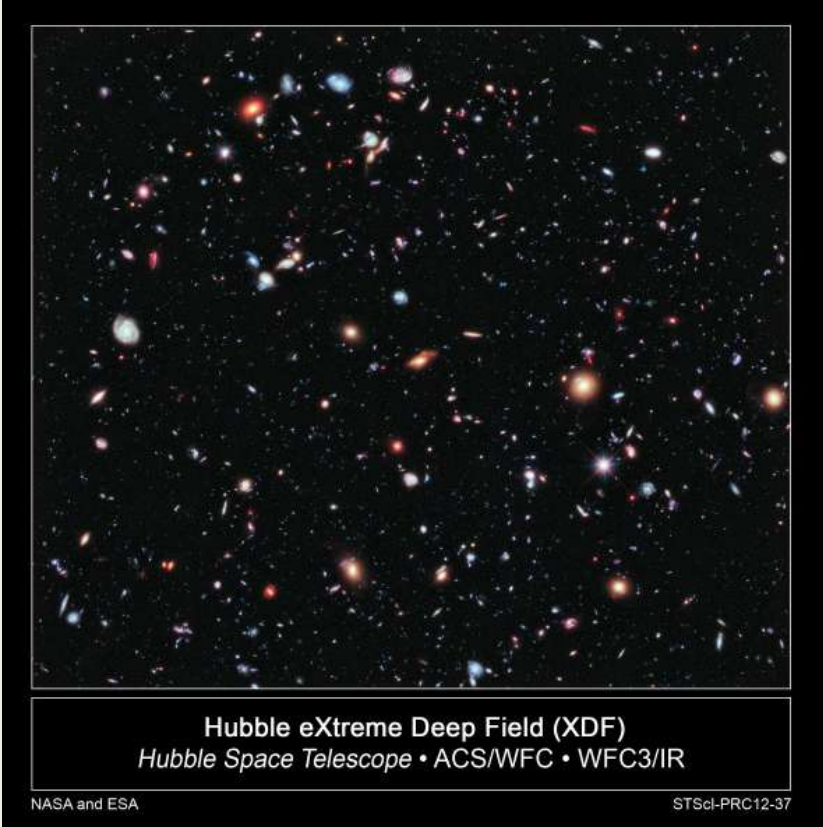


Galaxies les plus distantes dans le Hubble Ultra Deep Field

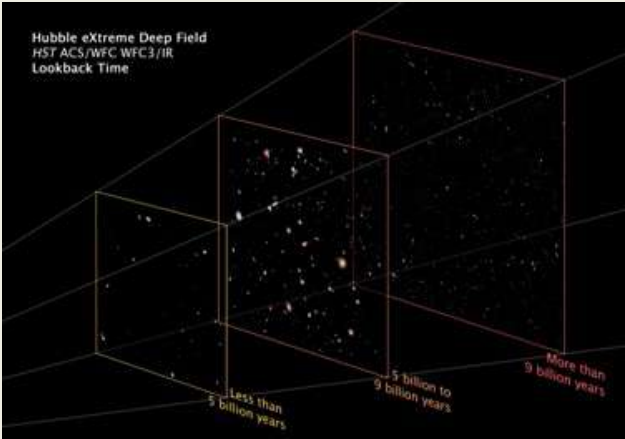


500 galaxies formées moins
d'1 milliard d'années après le Big Bang
Rouges car très grand redshift

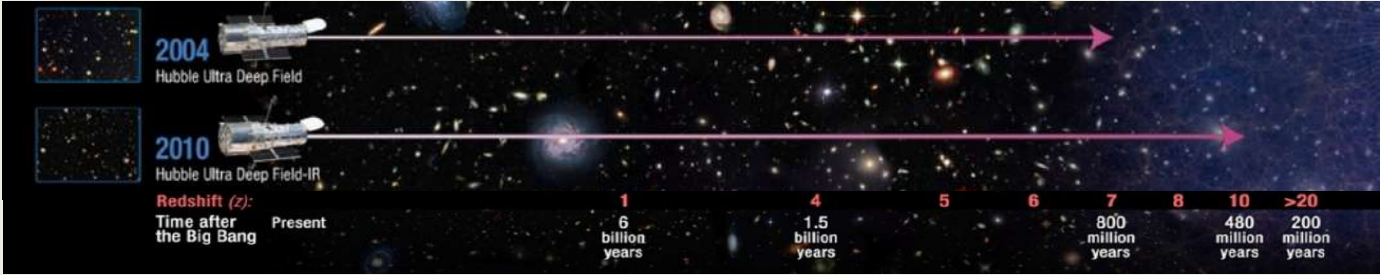
Hubble eXtreme Deep Field



~ 2 millions de secondes collectées pendant 10 ans
80% de la région du HUDF
~ 5'000 galaxies



[NASA; ESA; G. Illingworth et al. \(including P.Oesch\)](#)
25 septembre 2012



La galaxie la plus lointaine découverte avec HST

$z = 11.1 \pm 0.1$

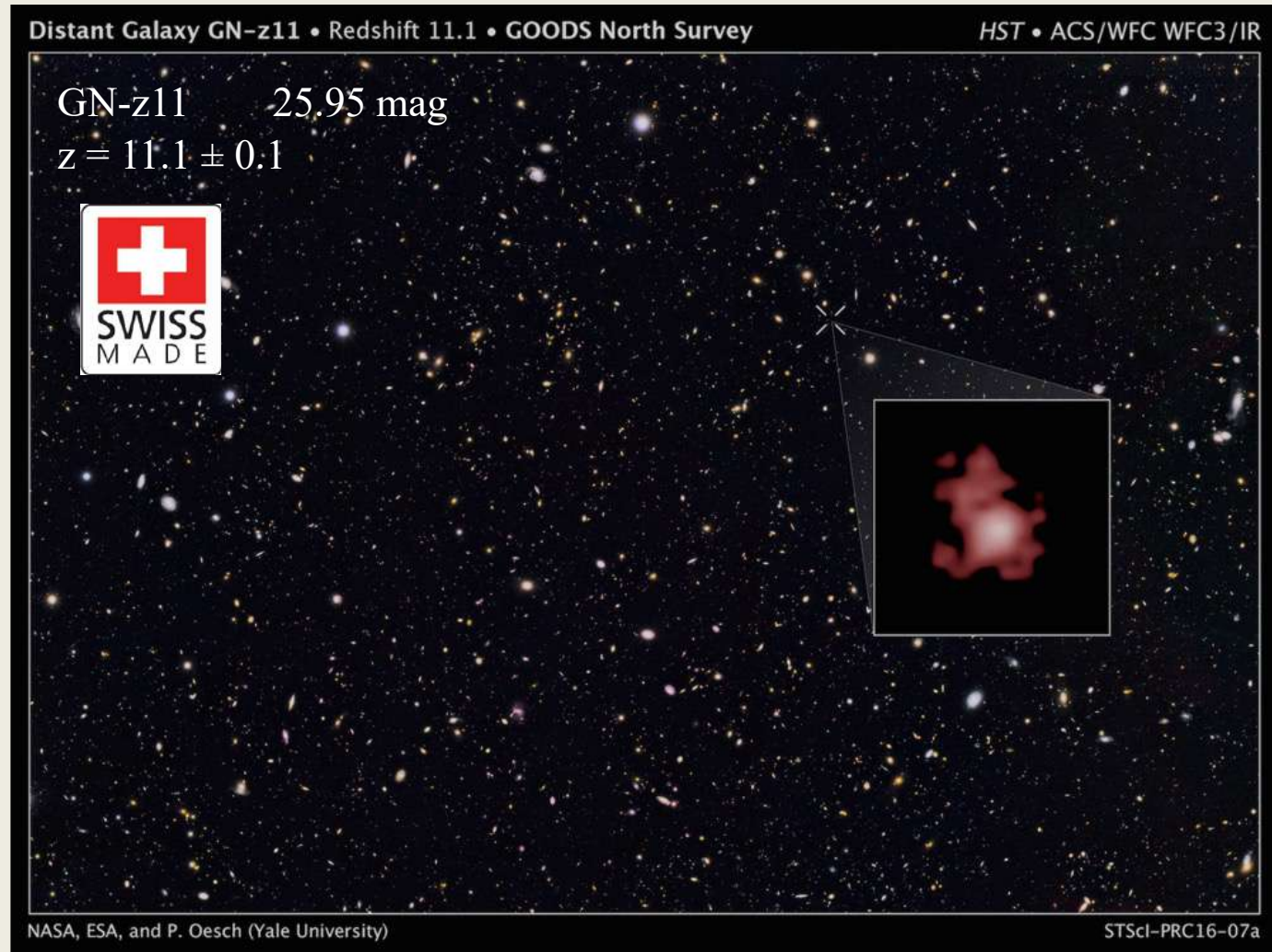
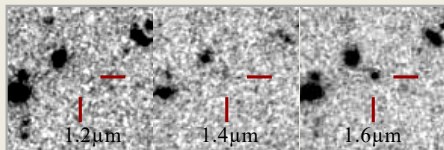
- Sa lumière a voyagé pendant
~ 13.45 milliards d'années
- été émise ~ 350 millions
d'années après le Big Bang

Âge de ses étoiles

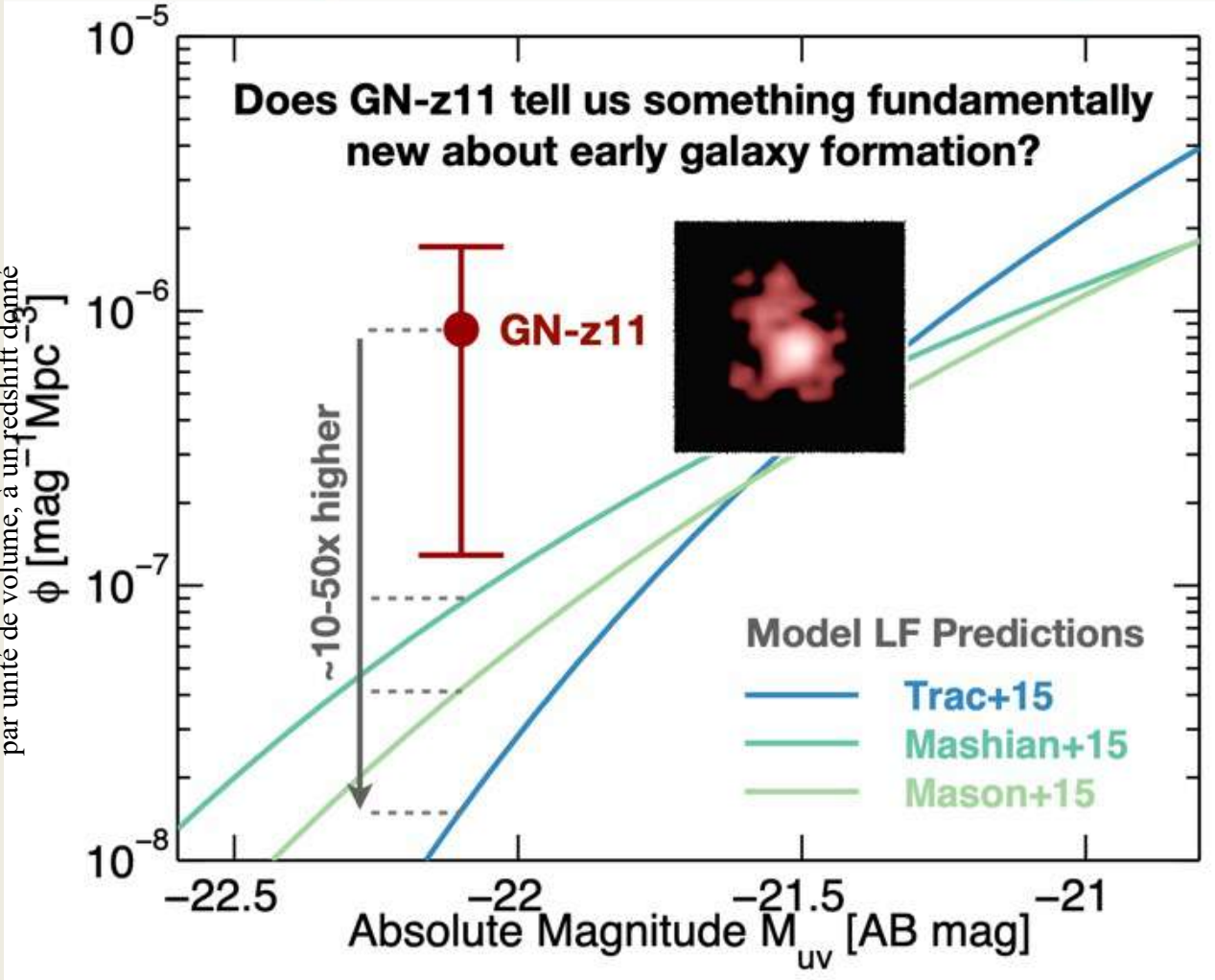
- ~ 40 millions d'années
- GN-z11 s'est formée
~ 300 millions d'années
après le Big Bang

Masse (GN-z11)

- ~ 1% M(Voie Lactée)
- Elle forme des étoiles à un
rythme 20 x plus intense
que la Voie Lactée



Fonction de luminosité :
 ~ proportion de galaxies de magnitude donnée
 par unité de volume, à un redshift donné



Proportionnel au taux de formation d'étoiles, donc du flux UV des étoiles jeunes

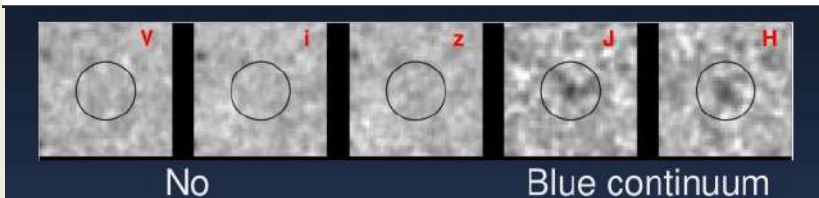
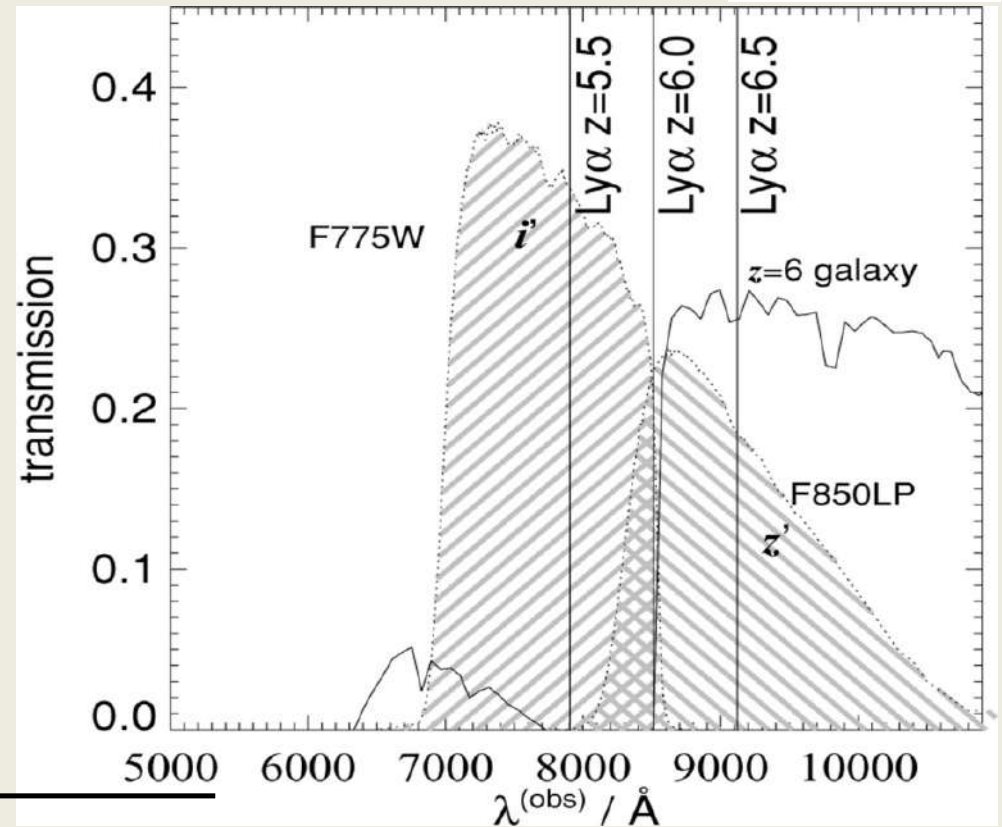
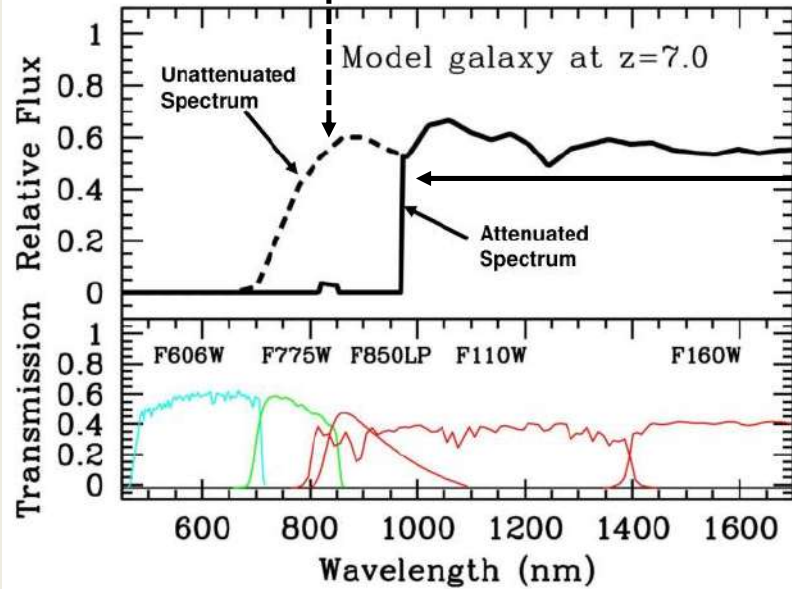
- Galaxie jeune plus massive qu'attendu par les modèles ?
- Taux de formation d'étoiles plus élevé que dans l'univers local ?

Redshift photométrique – Lyman-break «dropout» technique

Galaxies formant beaucoup d'étoiles →
 contiennent des étoiles jeunes chaudes et bleues (O et B) émettant essentiellement dans l'UV
 → Spectre émis

L'hydrogène (composant principal) atténue le spectre UV
 → Lyman break

1 Å = 10⁻¹⁰ mètre
 = 0.0001 μ
 = 0,1 nanomètre



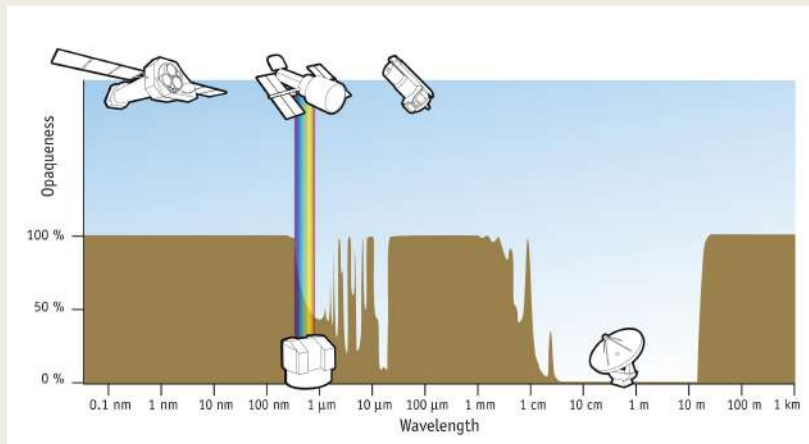
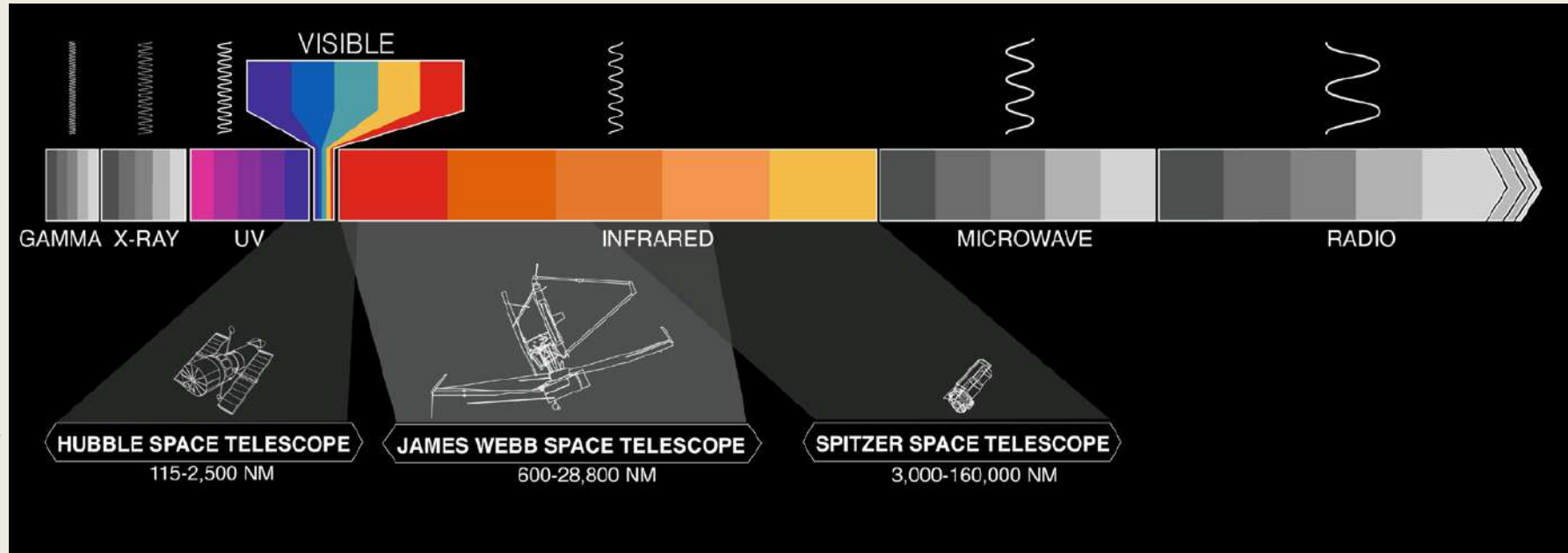
$$\lambda_{obs} = \lambda_{em} (z + 1)$$

Redshift

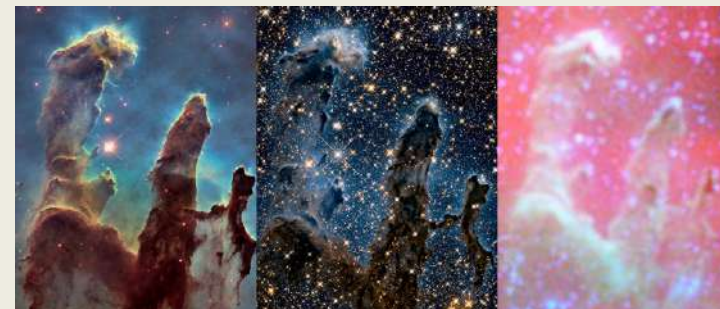
<https://doi.org/10.1046/j.1365-8711.2003.06546.x>

JWST – Observer dans l’infrarouge

Slide courtesy: Prof. P.Oesch (UniGe)

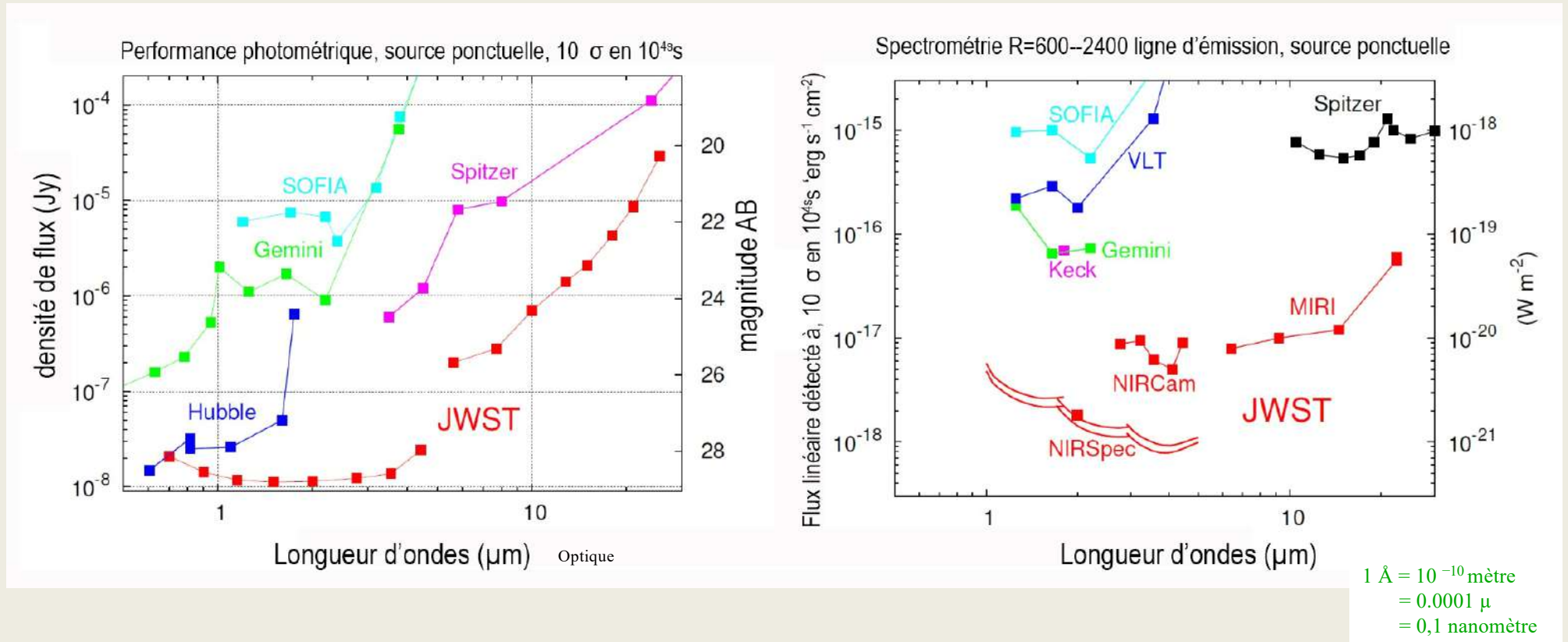


Source: NASA / ESA

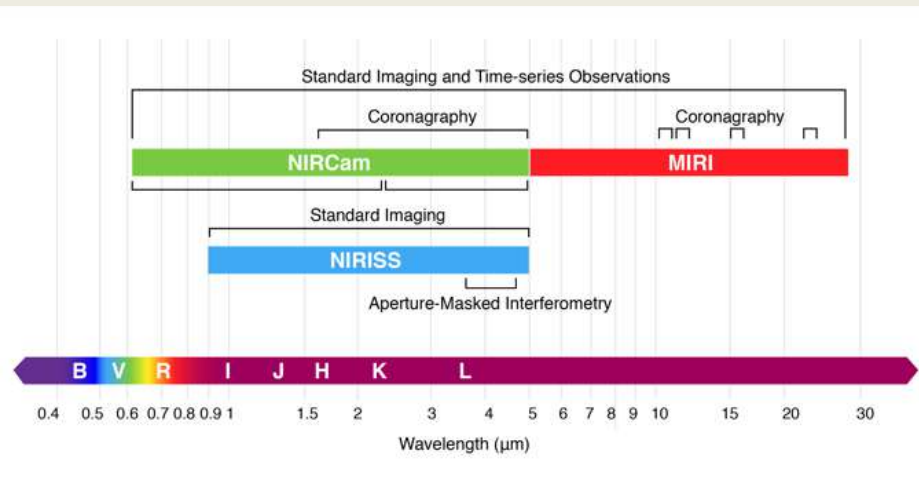
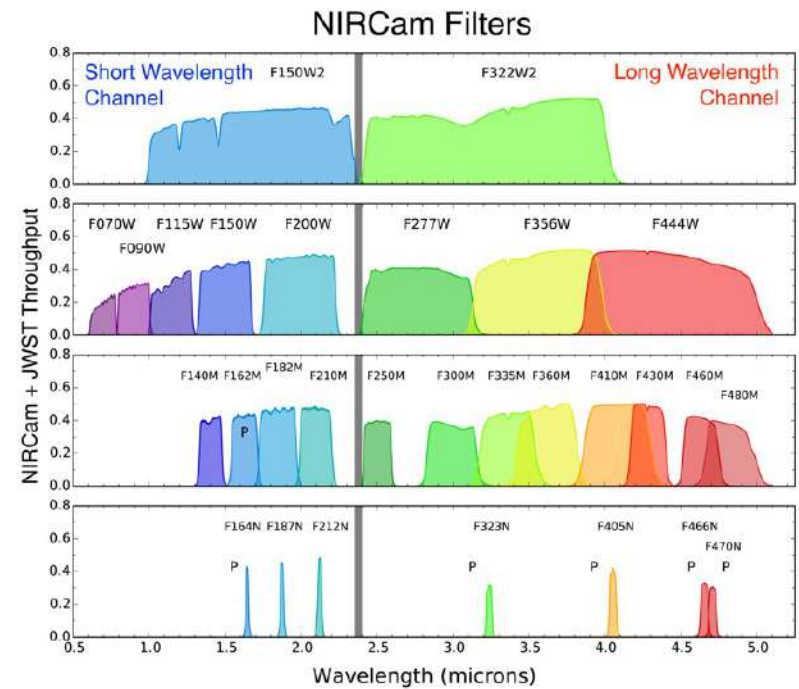
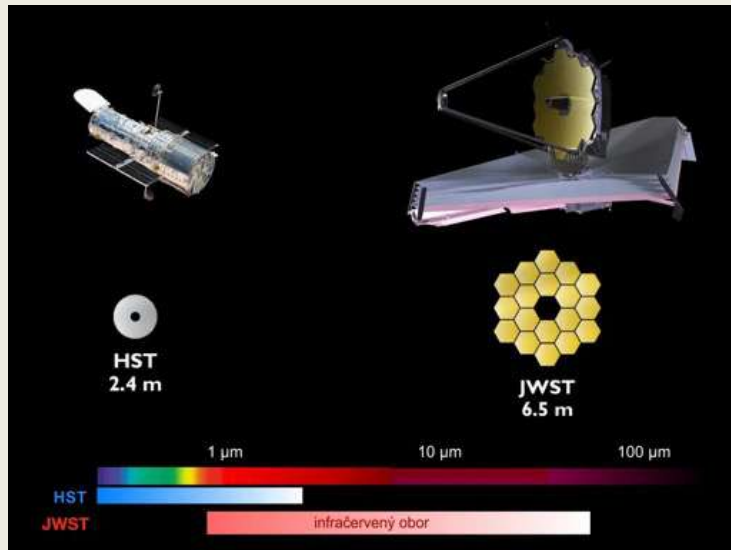


Visible Proche IR Mid-IR

Performances photométriques et spectroscopiques de JWST

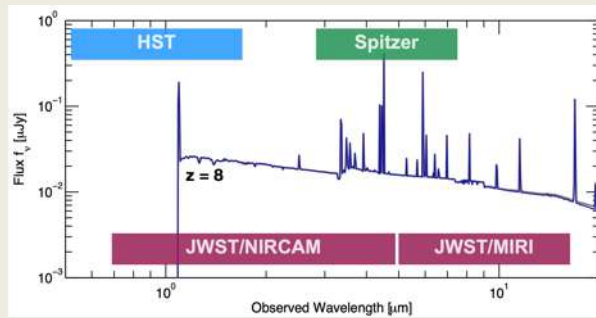
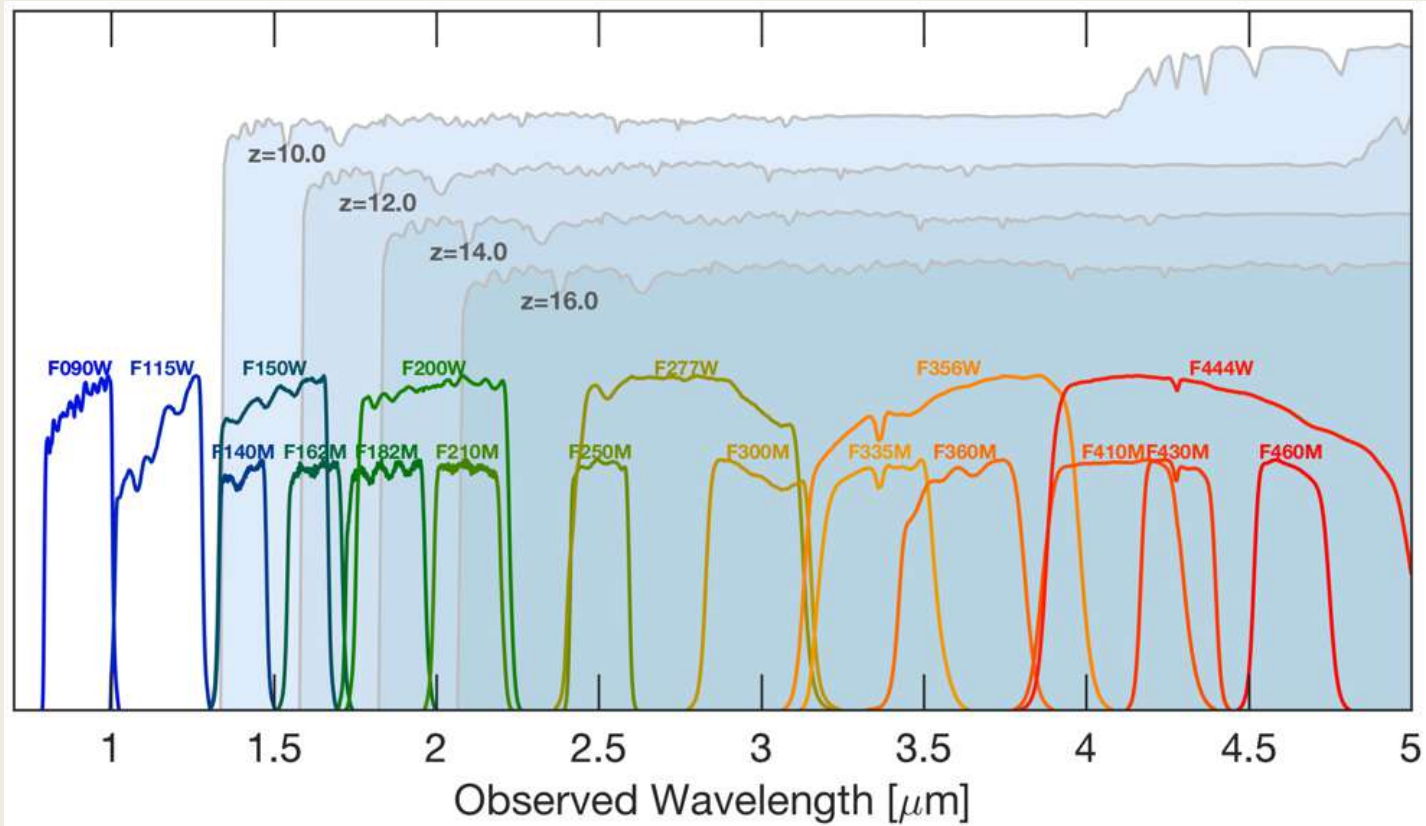
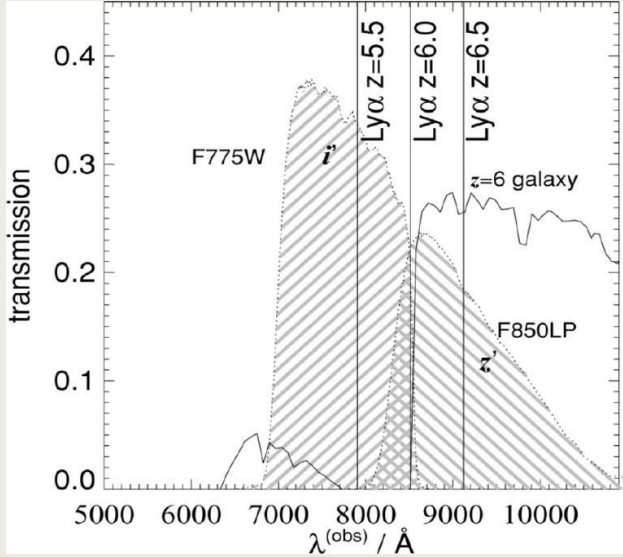


Source: <https://jwst.stsci.edu/files/live/sites/jwst/files/home/science%20planning/science%20corner/flyer/documents/JWST-Cheat-Sheet.pdf>

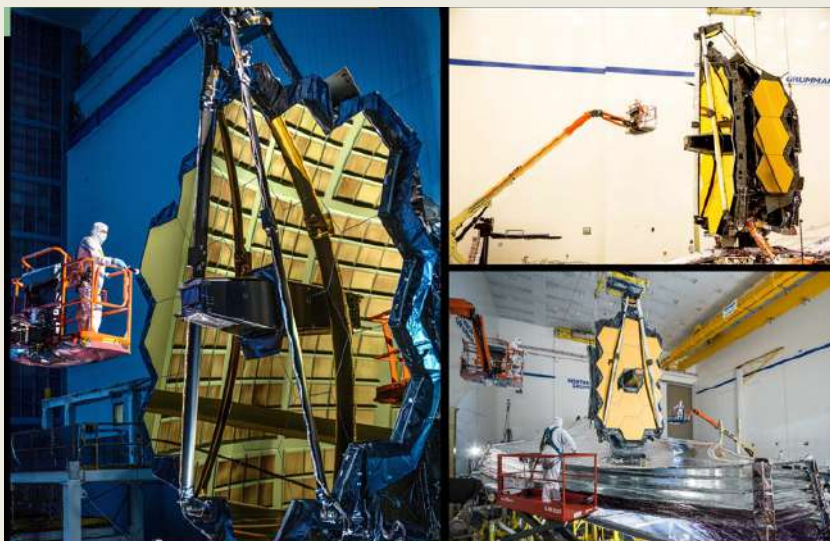


1 \AA = 10^{-10} mètre
 = 0.0001 μ
 = 0,1 nanomètre

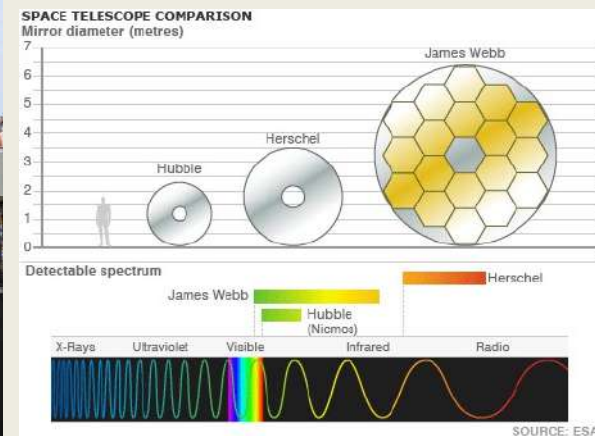
Redshift photométrie – Lyman-break



JWST – Miroir



50 grammes d'or (réfléchit très bien dans l'IR)
Epaisseur 100 nm – 600 atomes
Source: NASA / ESA / CSA (Canada)



Source: ESA

Un bouclier incroyable

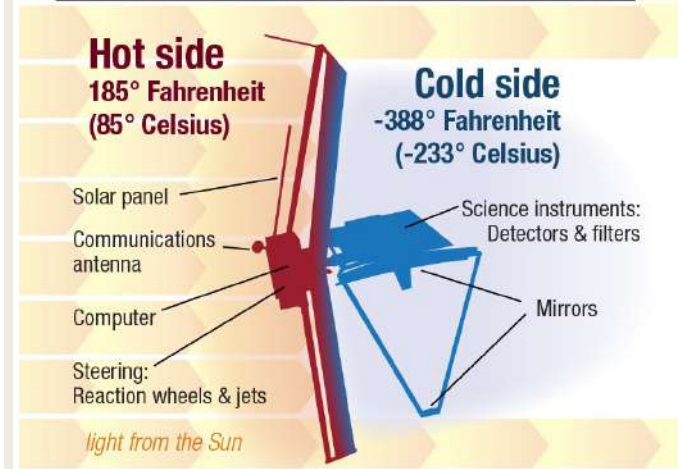
3 jours pour le déployer
 70 charnières qui vont déclencher des moteurs à ressort
 pour tendre 90 câbles qui passent par 400 poulies représentant 400 mètres
 déployer 5 couches de Kapton qui font 25 millièmes de mm
 Kapton : stable -269 à +400 degrés C, résiste aux UV et X et Gamma

D'un côté 200'000 Watts de l'autre 0.02 Watts soit un facteur de 10 millions

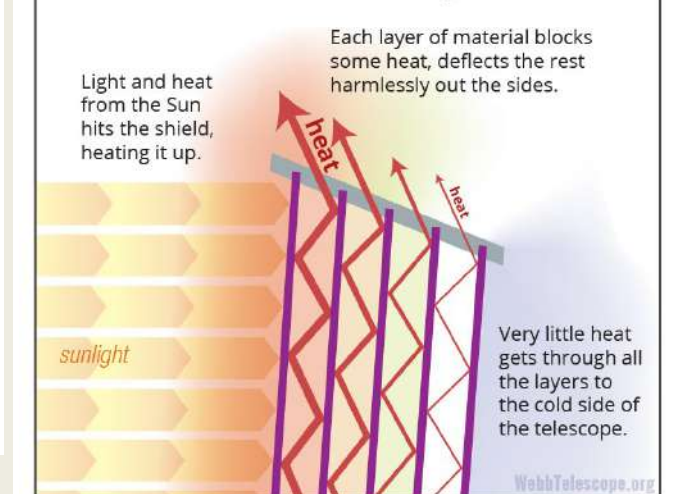


JWST – Bouclier thermique

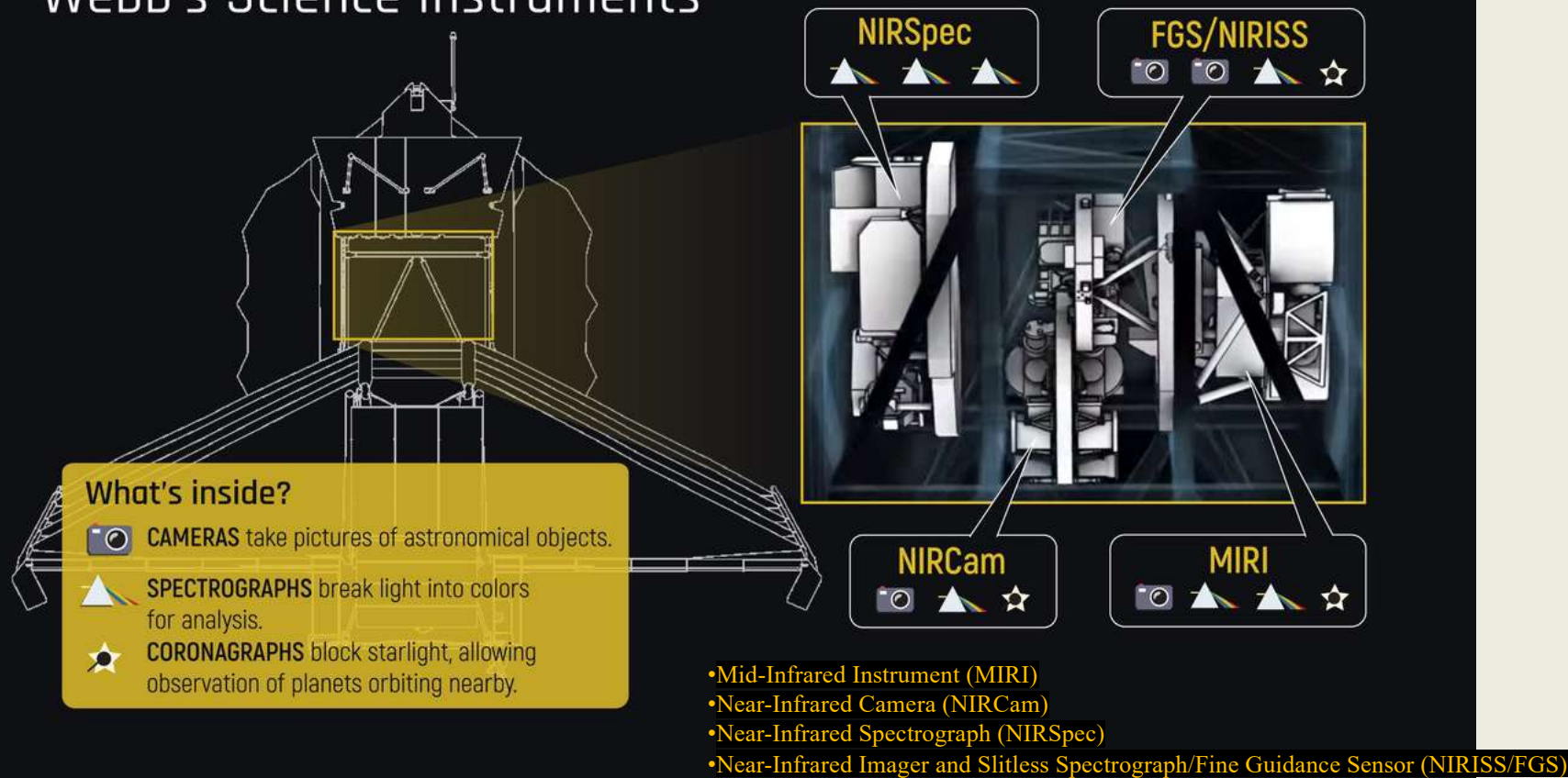
The Two Sides of the Webb Telescope



Cross-Section of Webb's Five-Layer Sunshield

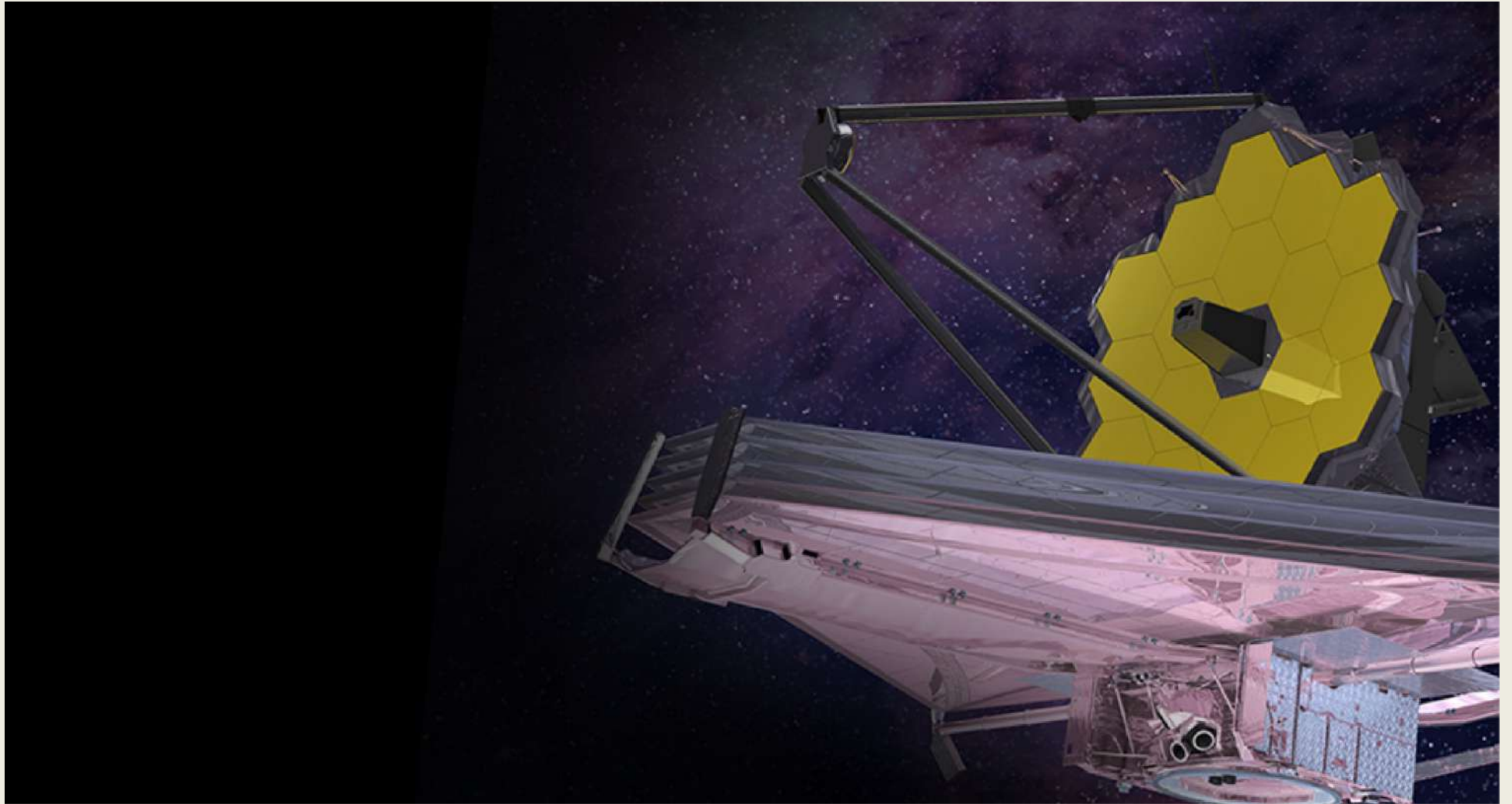


Webb's Science Instruments



Crédit: NASA, ESA, CSA, STScI

JWST – James Webb Space Telescope



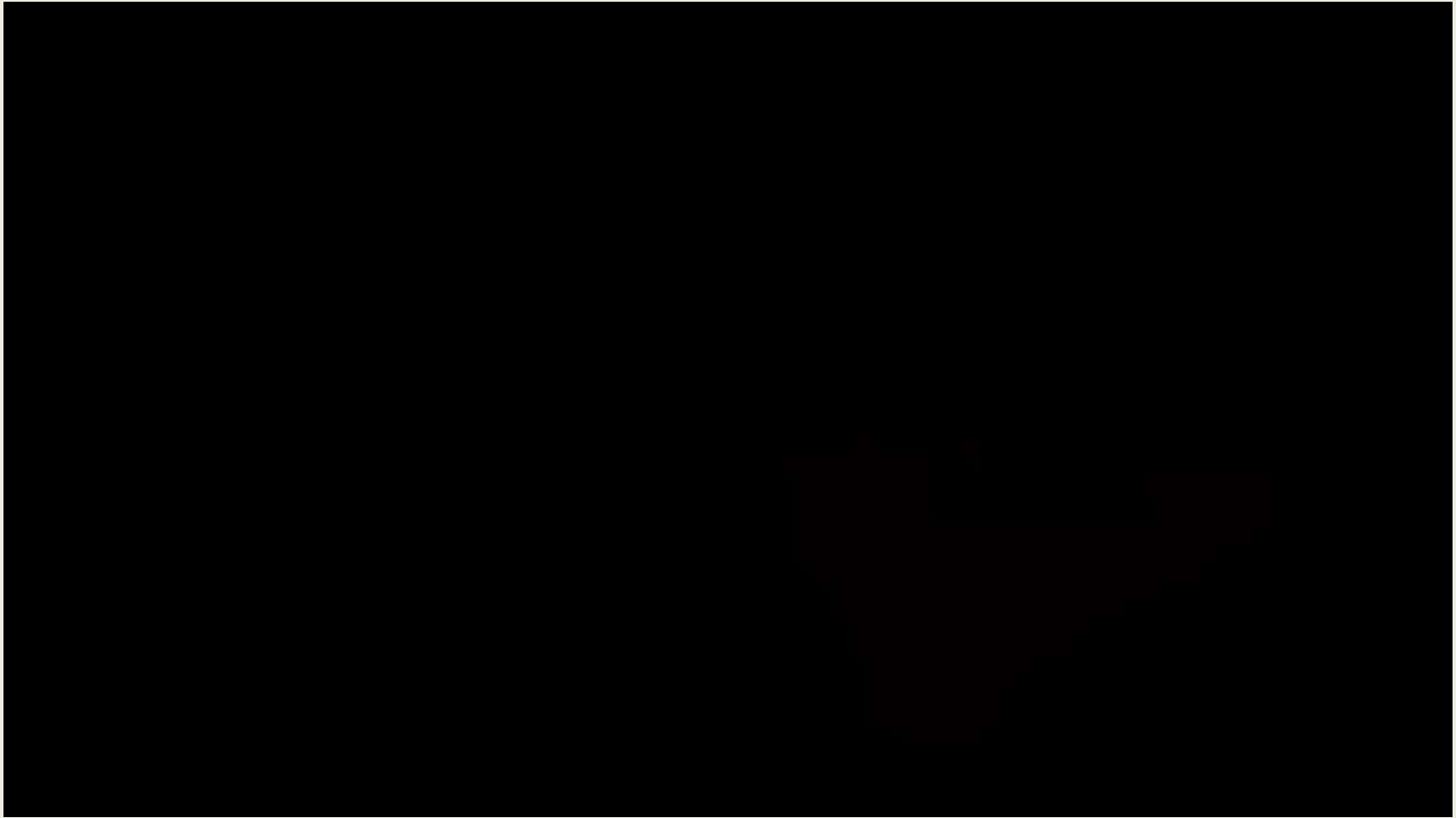


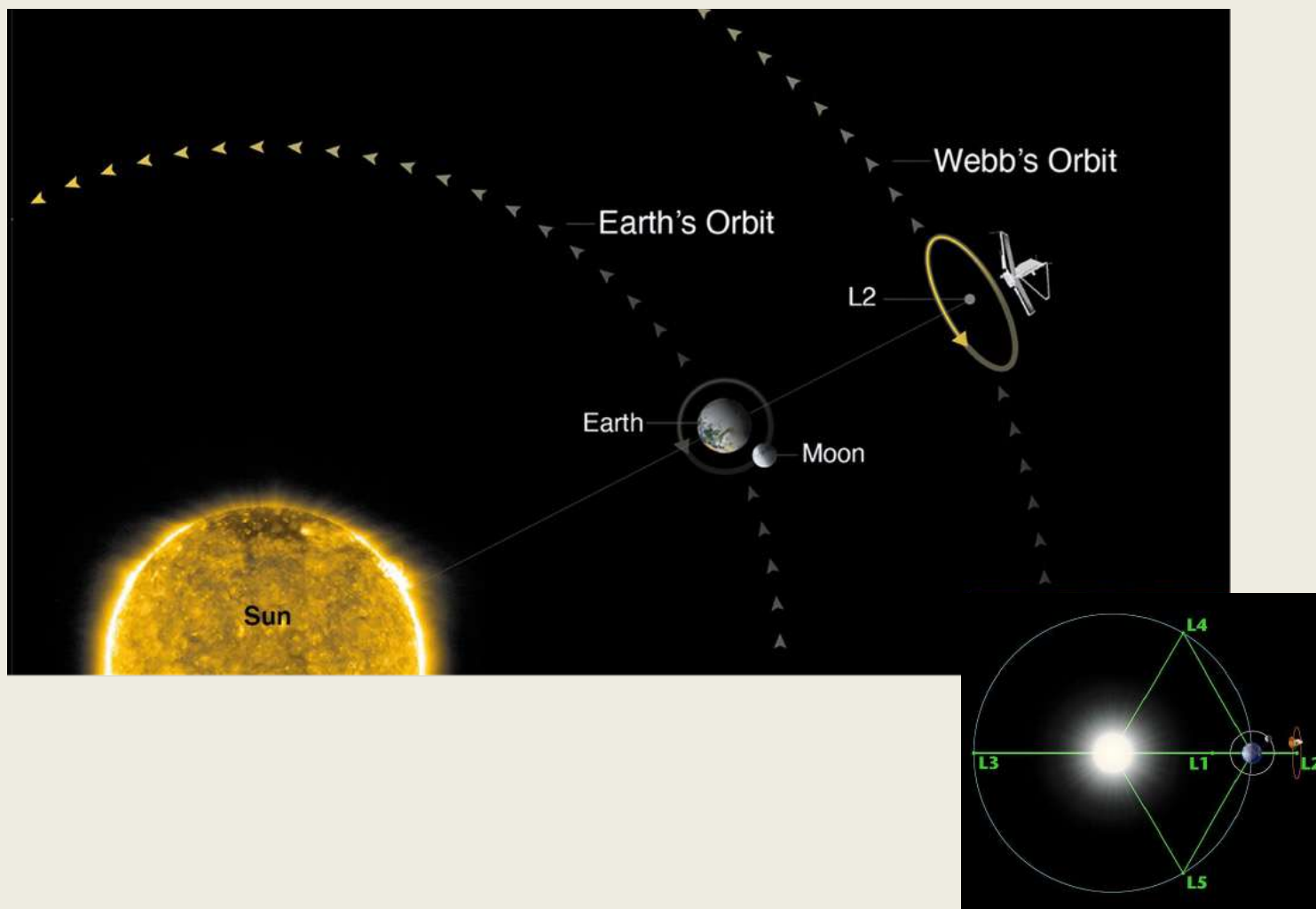
Images courtesy of ArianeSpace.com
<https://jwst.nasa.gov/content/about/launch.html>

JWST – Lancement – 25 décembre 2021



JWST – Déploiement





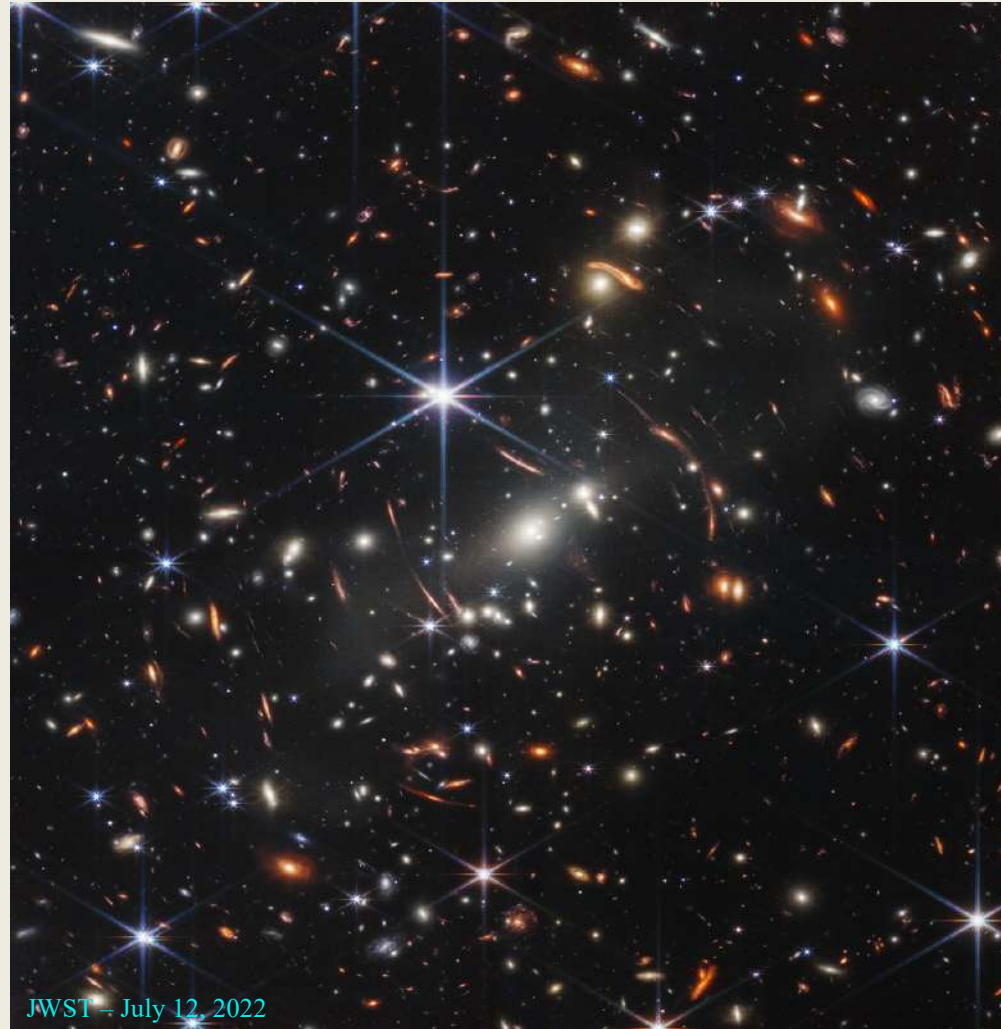
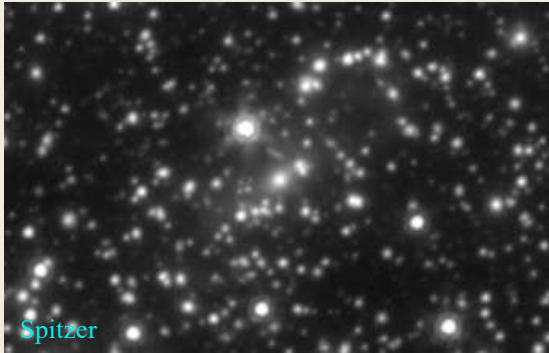
<https://webb.nasa.gov/content/about/orbit.html>

[White House Briefing](#)
to Unveil Imagery from
James Webb Space
Telescope July 11 2022



The graphic features a blue background with a faint white hexagonal grid pattern. On the left, a large yellow and black structure, representing the James Webb Space Telescope, is shown against a dark space background with a bright nebula and a black dot. The text "JAMES WEBB" is written in large, bold, white capital letters, with "SPACE TELESCOPE" in smaller white capital letters below it. At the bottom center, the text "WHITEHOUSE.GOV" is written in white capital letters. On the right side, there is a small inset video frame showing a woman with short brown hair, wearing a dark green blazer over a black top, looking directly at the camera. Below the video frame is the White House logo, which consists of a white silhouette of the White House building above the text "THE WHITE HOUSE" and "WASHINGTON" in white capital letters. The background also features a faint white seal of the President of the United States with the motto "E PLURIBUS UNUM" and a banner.

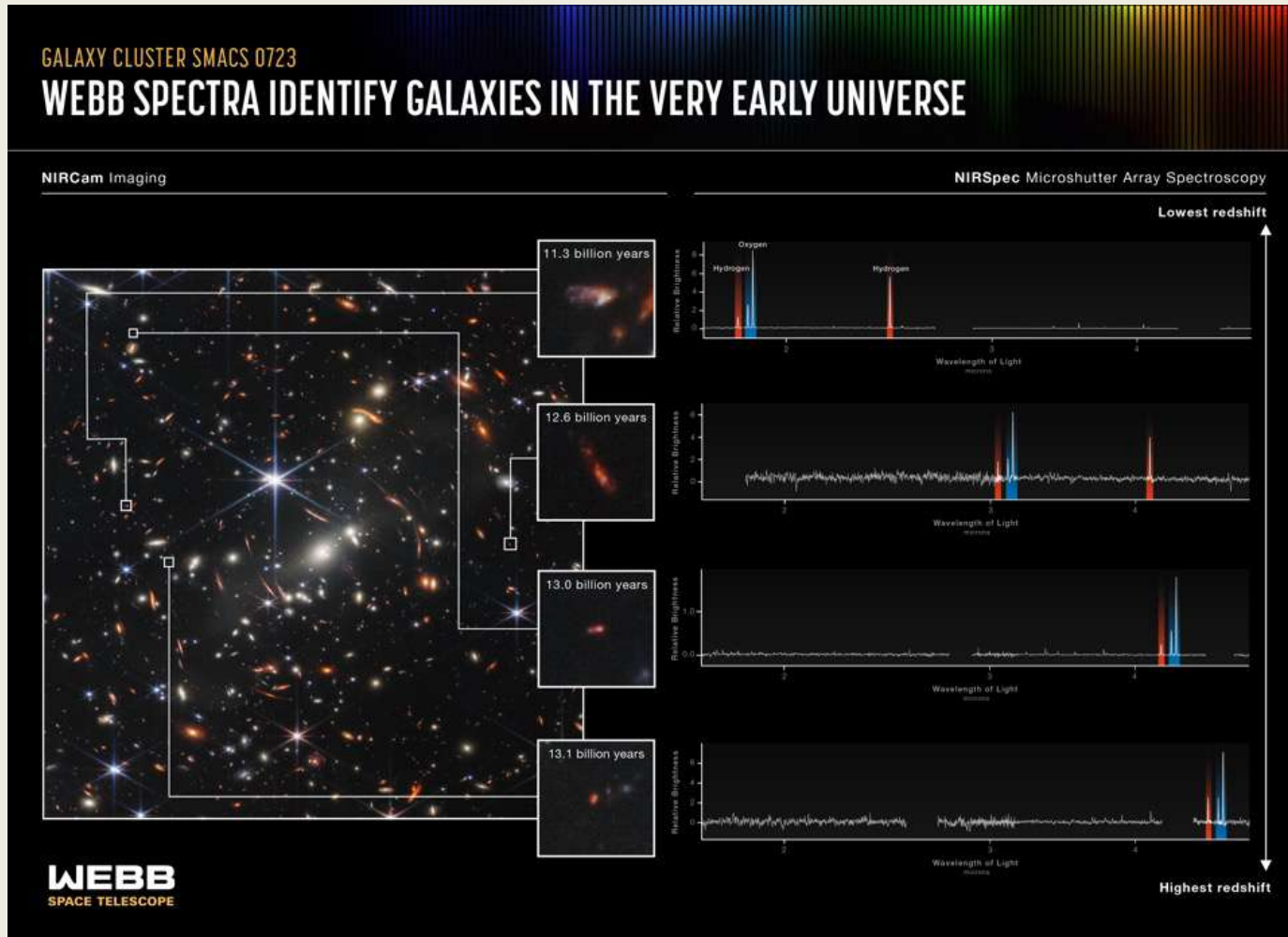
Webb's First Deep Field (NIRCam Image)
Amas de galaxies SMACS 0723



[White House Briefing](https://www.whitehouse.gov/briefing-room/2022/07/11/white-house-briefing-to-unveil-imagery-from-james-webb-space-telescope/)
to Unveil Imagery from
James Webb Space
Telescope July 11 2022

https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2022/07/Webb_s_first_deep_field

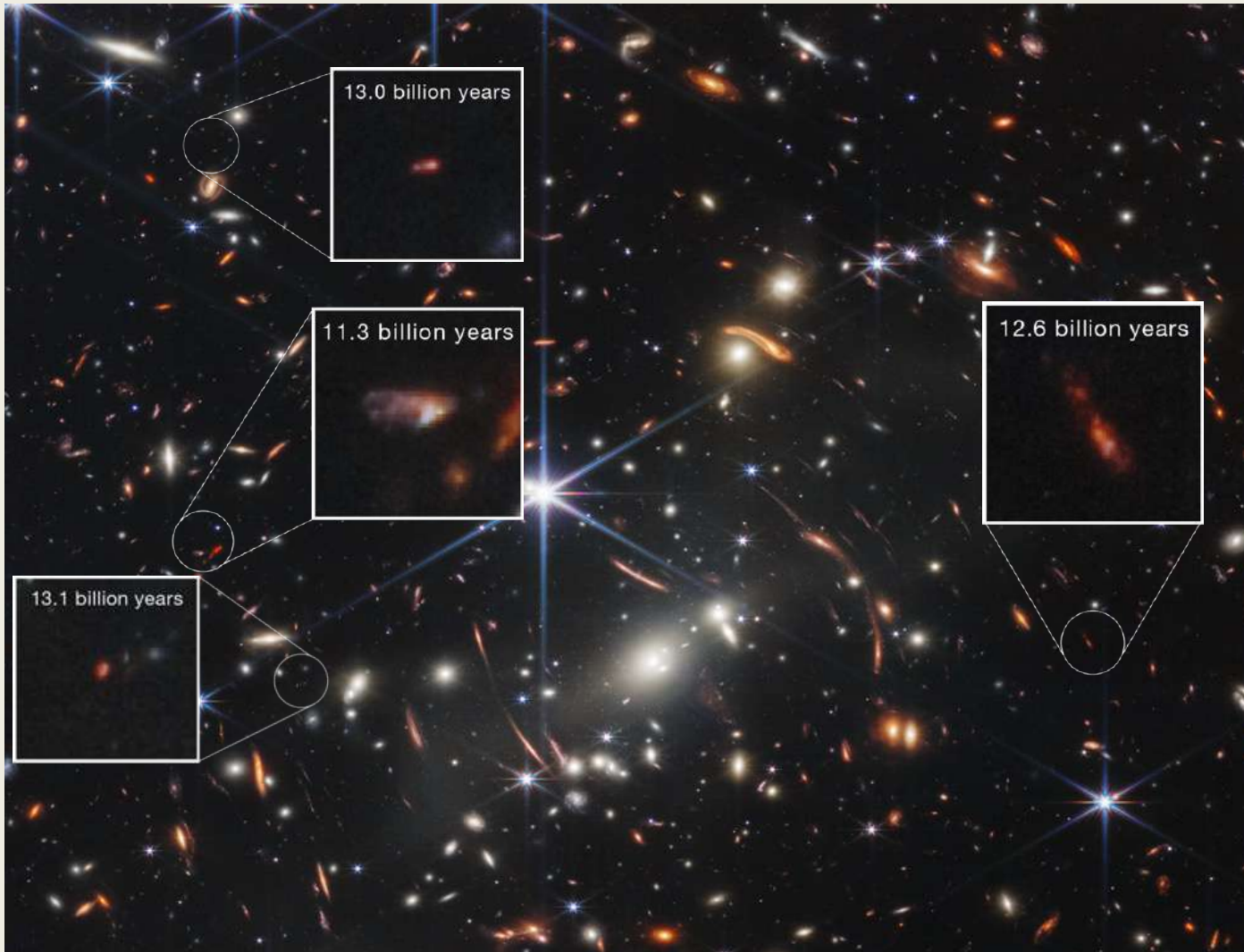
Webb's First Deep Field (NIRCam Image) Amas de galaxies SMACS 0723



Webb's First Deep Field (NIRCam Image)

Amas de galaxies SMACS 0723

Les «premières» galaxies



Credits: NASA, ESA, CSA, STScI
Slide courtesy: Prof. P.Oesch

C.Charbonnel – Cours UniGe 1051 – 20231128

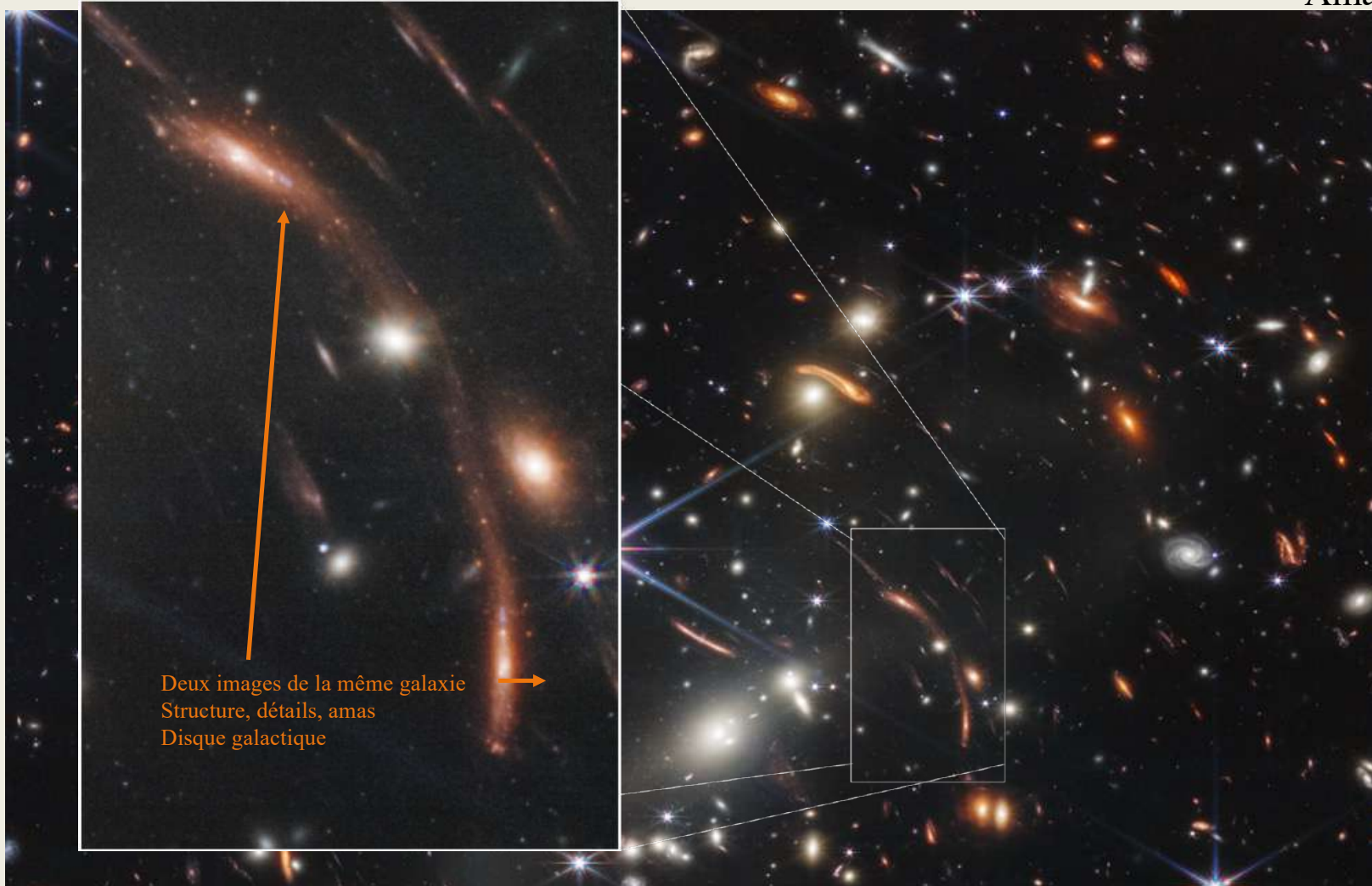
Webb's First Deep Field (NIRCam Image)
Amas de galaxies SMACS 0723



Lentille gravitationnelle
L'univers sert de télescope
« Fantôme galactique »

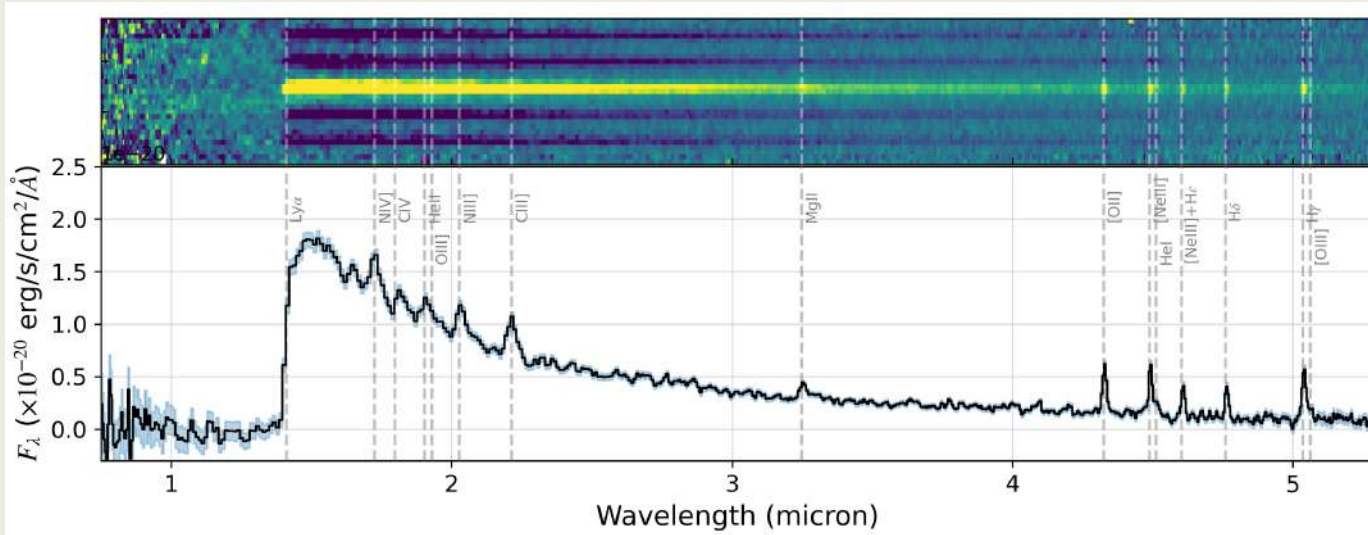
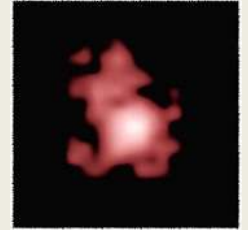
Credits: NASA, ESA, CSA, STScI
Slide courtesy: Prof. P.Oesch

Webb's First Deep Field (NIRCam Image)
Amas de galaxies SMACS 0723

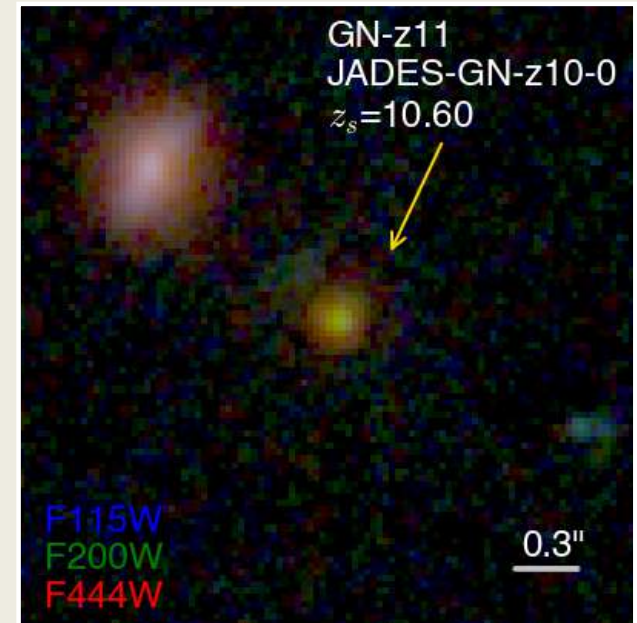


Deux images de la même galaxie
Structure, détails, amas
Disque galactique

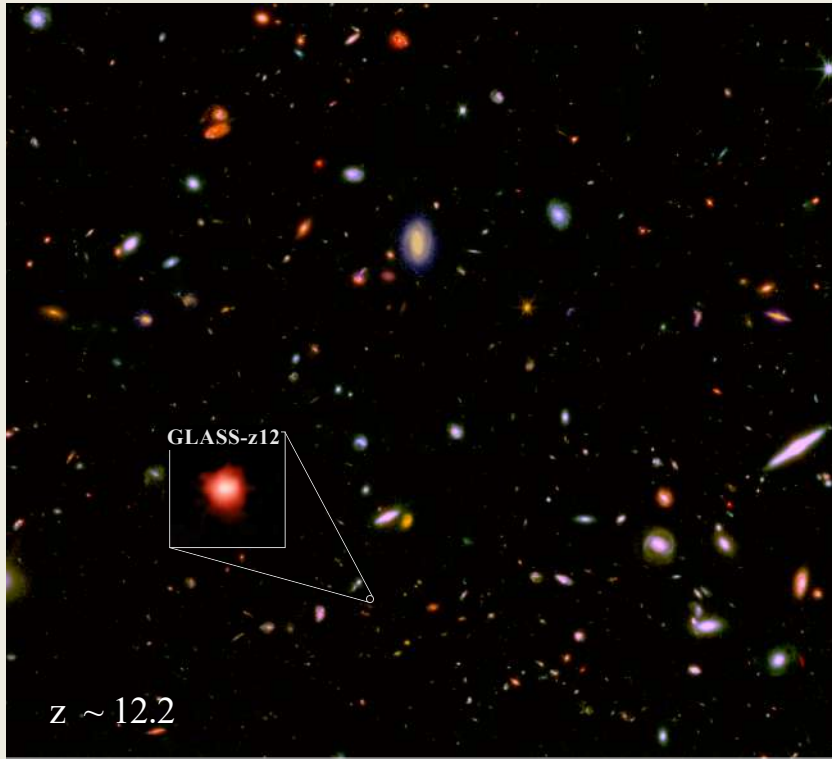
Confirmation spectroscopique du redshift de GN-z11



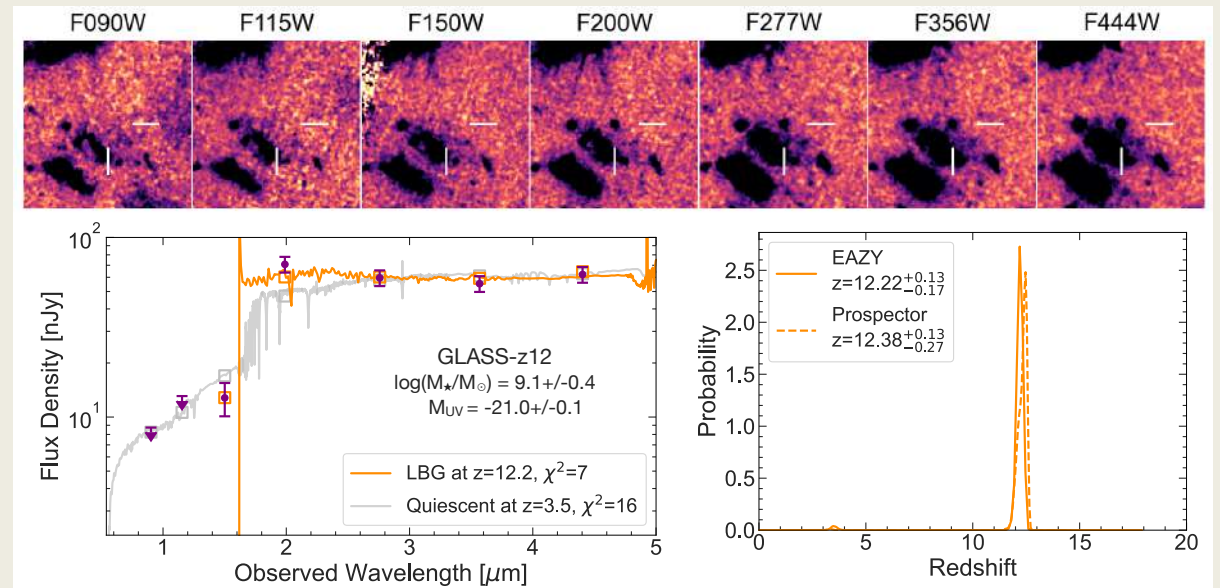
Bunker+23, Tacchella+23



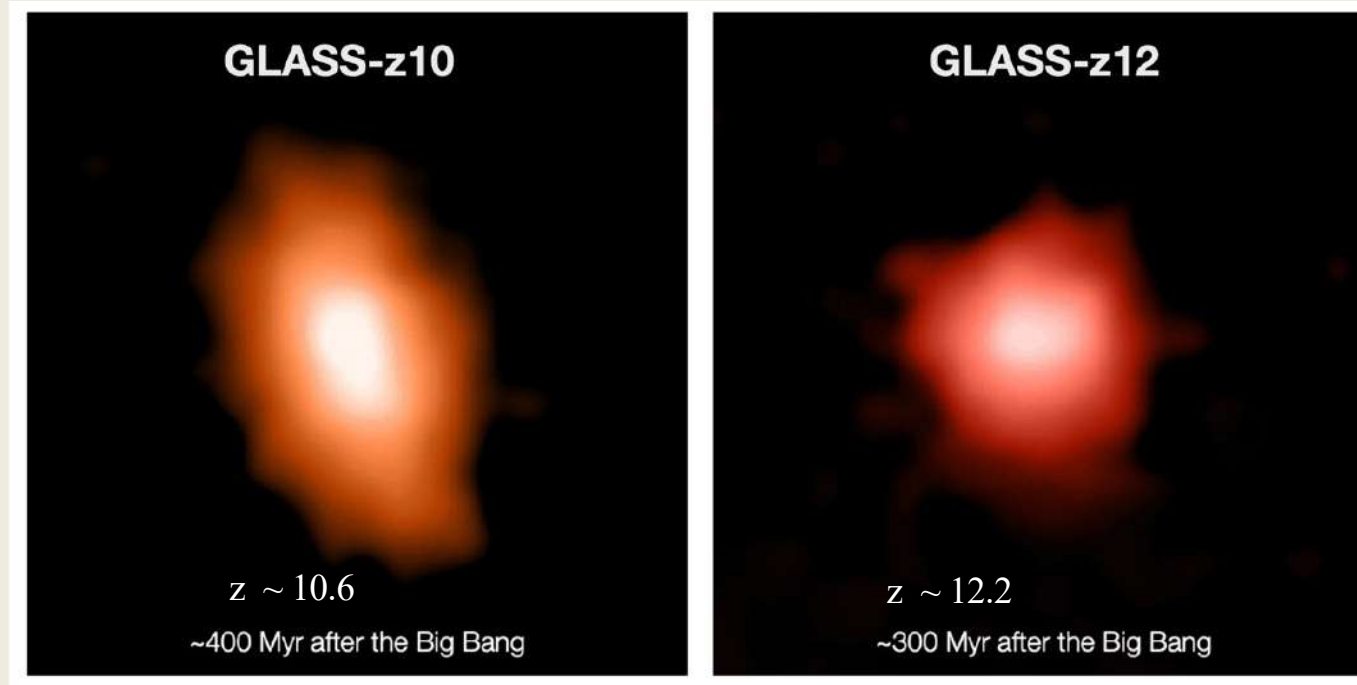
Les «premières» galaxies



Castellano et al. (2022)
Naidu et al. (2022)



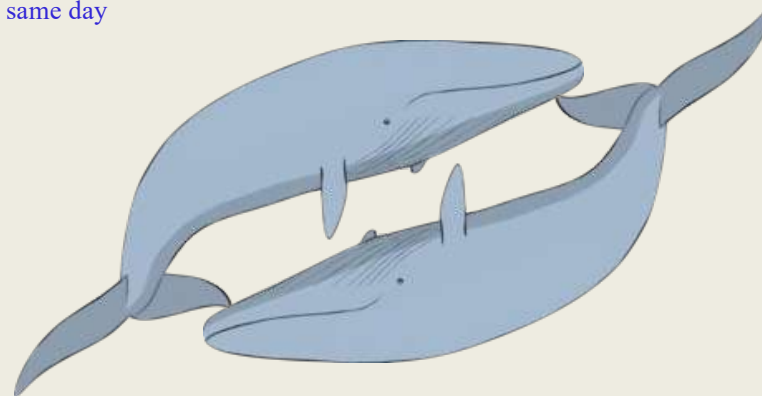
Les «premières» galaxies



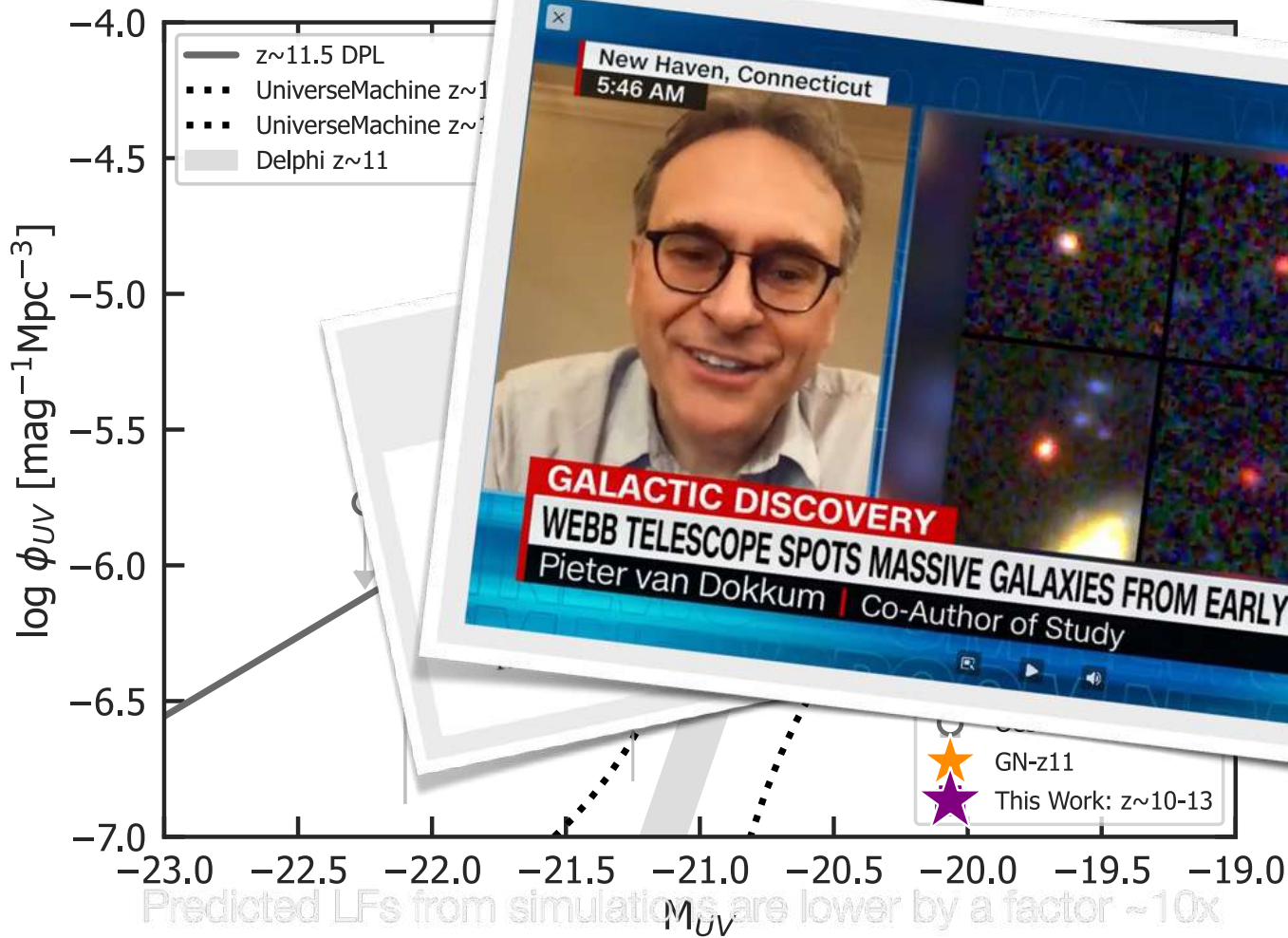
Naidu & Oesch et al. 2022, as well as Castellano+22 on the same day

Credits: NASA, ESA, CSA, STScI

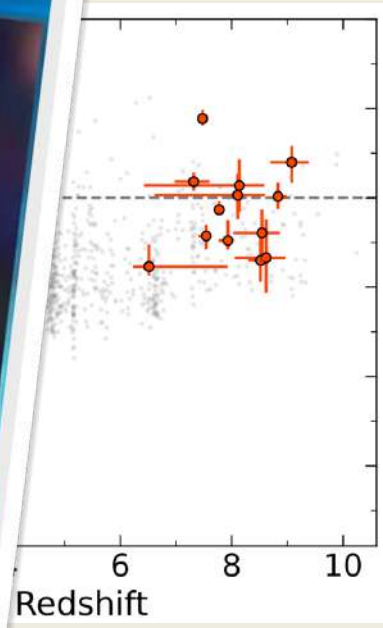
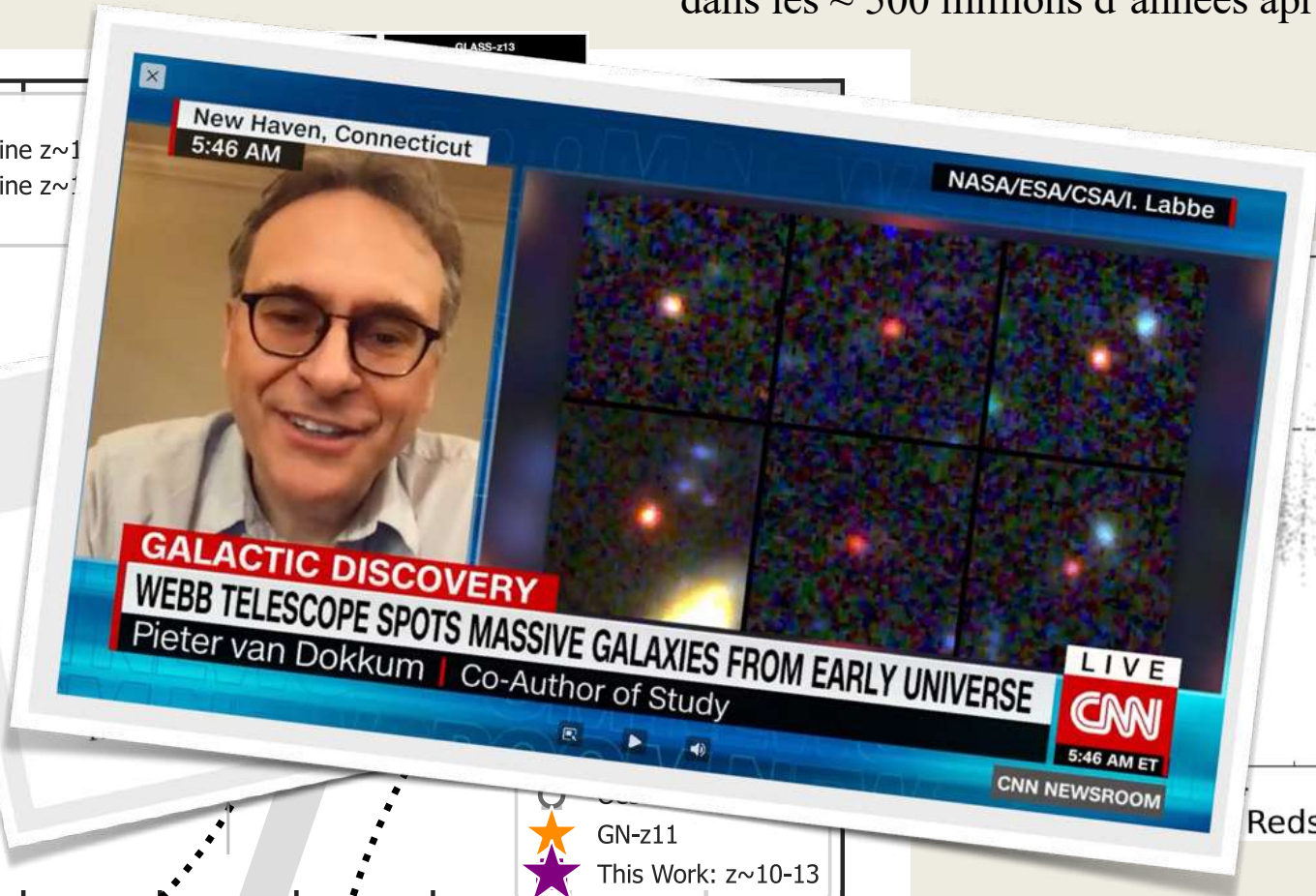
Slide courtesy: Prof. P.Oesch



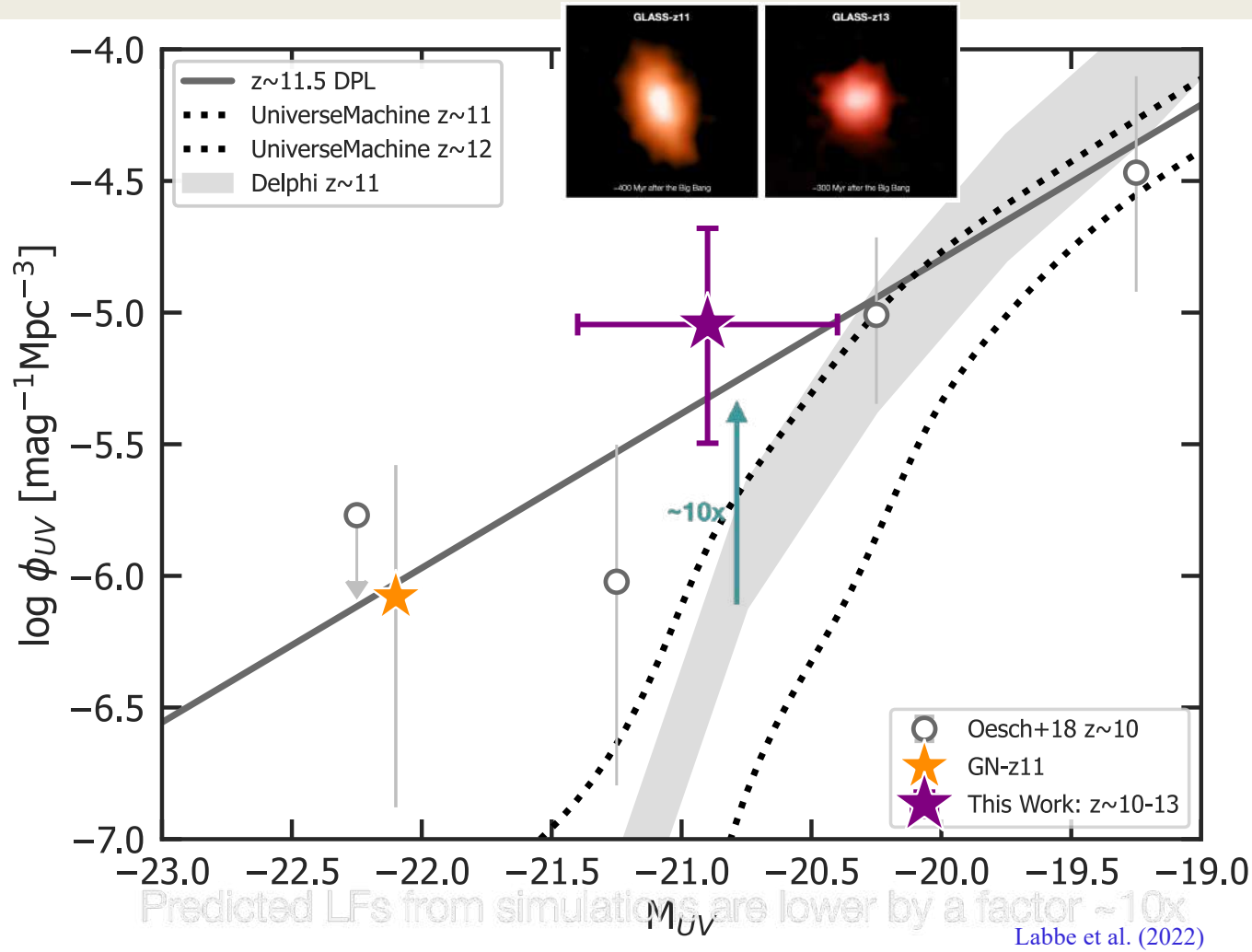
Trop de «premières» galaxies très lumineuses dans les ~ 500 millions d'années après le Big Bang ?



Predicted LFs from simulations are lower by a factor ~10x



Trop de «premières» galaxies très lumineuses dans les ~ 500 millions d'années après le Big Bang ?



Taux de formation d'étoiles plus important ?
Efficacité de formation d'étoiles

Augmentation de la luminosité UV pour une masse donnée ?

Plus d'étoiles très massives

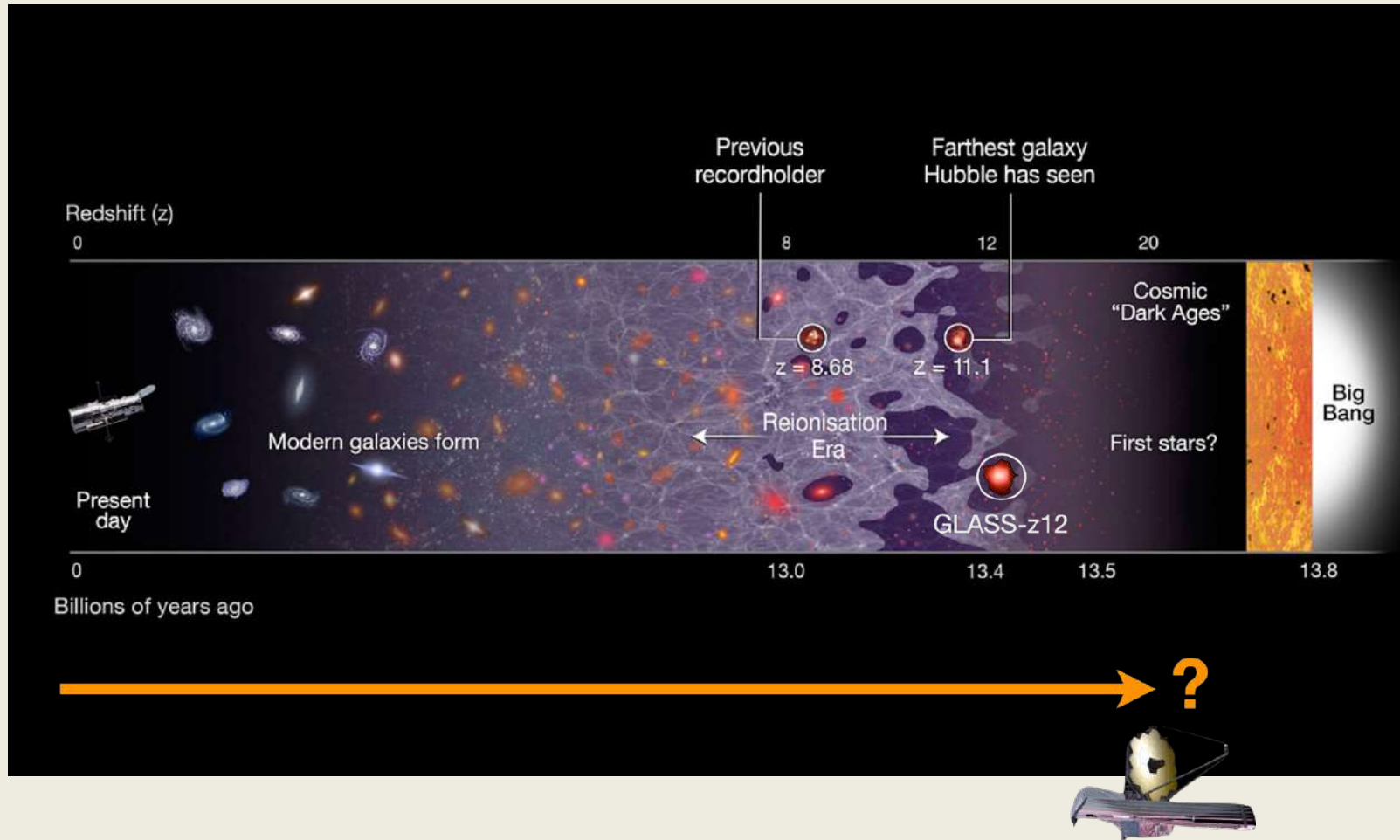
(top-heavy IMF) ?

Etoiles très lumineuses (Pop III) ?

Noyau actif de galaxies ?

Changement de cosmologie?

Les «premières» galaxies JWST repousse les frontières





JWST – Ariane 5 : séparation – 25 décembre 2021





UNIVERSITÉ
DE GENÈVE
FACULTÉ DES SCIENCES
Département d'astronomie

Cosmologie

Corinne Charbonnel & Stéphane Paltani
Professeur.e.s au Département d'Astronomie UniGE

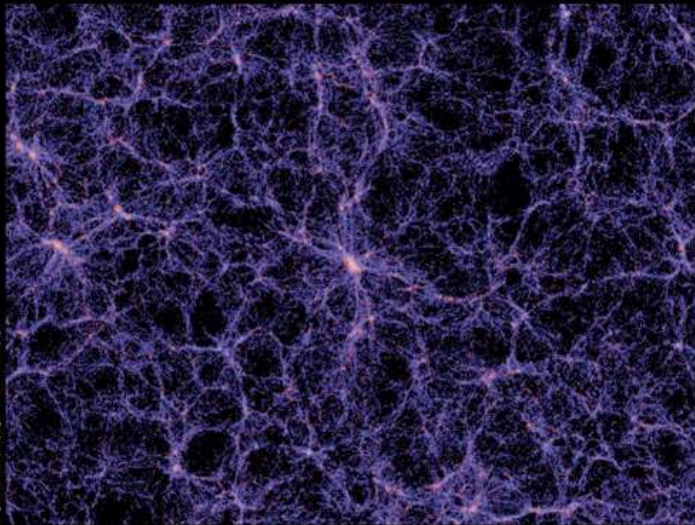


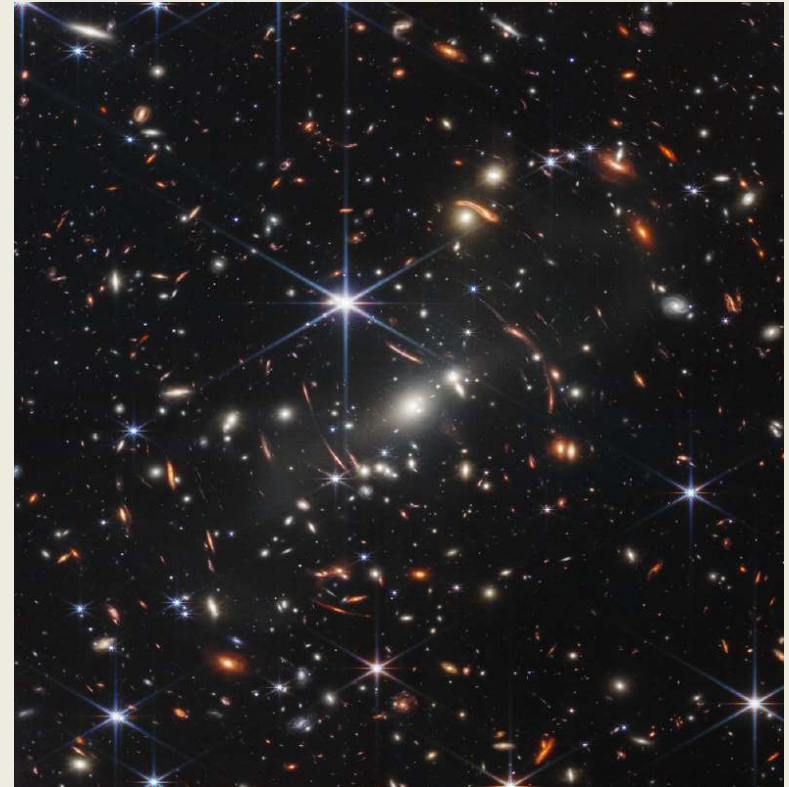
Image : Ochi, MPA, V. Springel/WMAP, S. D'Inverno

le mardi, du 19 septembre au 19 décembre 2023
de 17h45 à 18h45
Auditoire A300 - Sciences II, 30 quai Ernest-Ansermet, Genève

Inscription au cours sur place le 19 septembre
Renseignements : <http://unige.ch/sciences/astro>

Cours 10 – 28 novembre 2023

Les premières galaxies vues par JWST



JWST – 12 juillet 2022
Credits: NASA, ESA, CSA, STScI