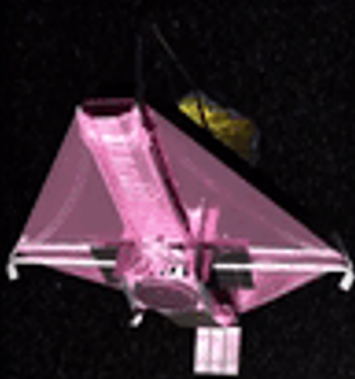


UN SIÈCLE DE CONNAISSANCE SUR LES GALAXIES
DEPUIS LE GRAND DÉBAT
DU DÉBUT DES ANNÉES (19)20 AU DÉBUT DES ANNÉES (20)20



Illustration

DENIS BURGARELLA
ASTRONOME
LABORATOIRE D'ASTROPHYSIQUE DE MARSEILLE
AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ

Sur les traces de la connaissance...
Bien plus qu'un siècle !



- En Tanzanie, à proximité du volcan Ol Doinyo Lengai, les cendres du volcan, combinées à de la boue, ont préservé ces empreintes, qui auraient entre 5000 et 19000 ans.
- L'autre empreinte, vous savez certainement...

Plan

- Qu'est-ce qu'une galaxie ?
- La « *préhistoire* » de l'astrophysique extragalactique (jusqu'au XX^{ème} siècle)
- Le grand débat (1920 – 1924)
- La révolution du XX^{ème} siècle
 - La fourchette de Hubble
 - La matière sombre
 - L'évolution de la morphologie des galaxies avec les âges cosmiques
 - La formation et l'évolution des galaxies avec les âges cosmiques
 - Les résultats les plus récents du JWST sur les galaxies dans l'Univers jeune
- Les résultats les plus récents du JWST sur les galaxies dans l'Univers jeune
- Les premières étoiles et galaxies apparues dans l'Univers
- Fin



Plan

- Qu'est-ce qu'une galaxie ?
- La « préhistoire » de l'astrophysique extragalactique (jusqu'au XXème siècle)
- Le grand débat (1920 – 1924)
- La révolution du XX^{ème} siècle
 - La fourchette de Hubble
 - La matière sombre
 - L'évolution de la morphologie des galaxies avec les âges cosmiques
 - La formation et l'évolution des galaxies avec les âges cosmiques
 - Les résultats les plus récents du JWST sur les galaxies dans l'Univers jeune
- Les résultats les plus récents du JWST sur les galaxies dans l'Univers jeune
- Les premières étoiles et galaxies apparues dans l'Univers
- Fin



- Une galaxie est une structure contenant entre 1 milliard et plusieurs centaines de milliards d'étoiles (et de planètes) maintenues ensemble sous l'effet de la gravitation.
- Les galaxies contiennent également du gaz et des grains de poussière, dans le milieu interstellaire.
- Enfin, elles ont souvent un trou noir supermassif en leur centre.

Une introduction aux galaxies : la Voie Lactée

Galaxie « proche » (2.5 millions d'années-lumière)



Lucy



Une photo prise
d'Andromède, maintenant



2.5 millions d'années



Les galaxies spirales

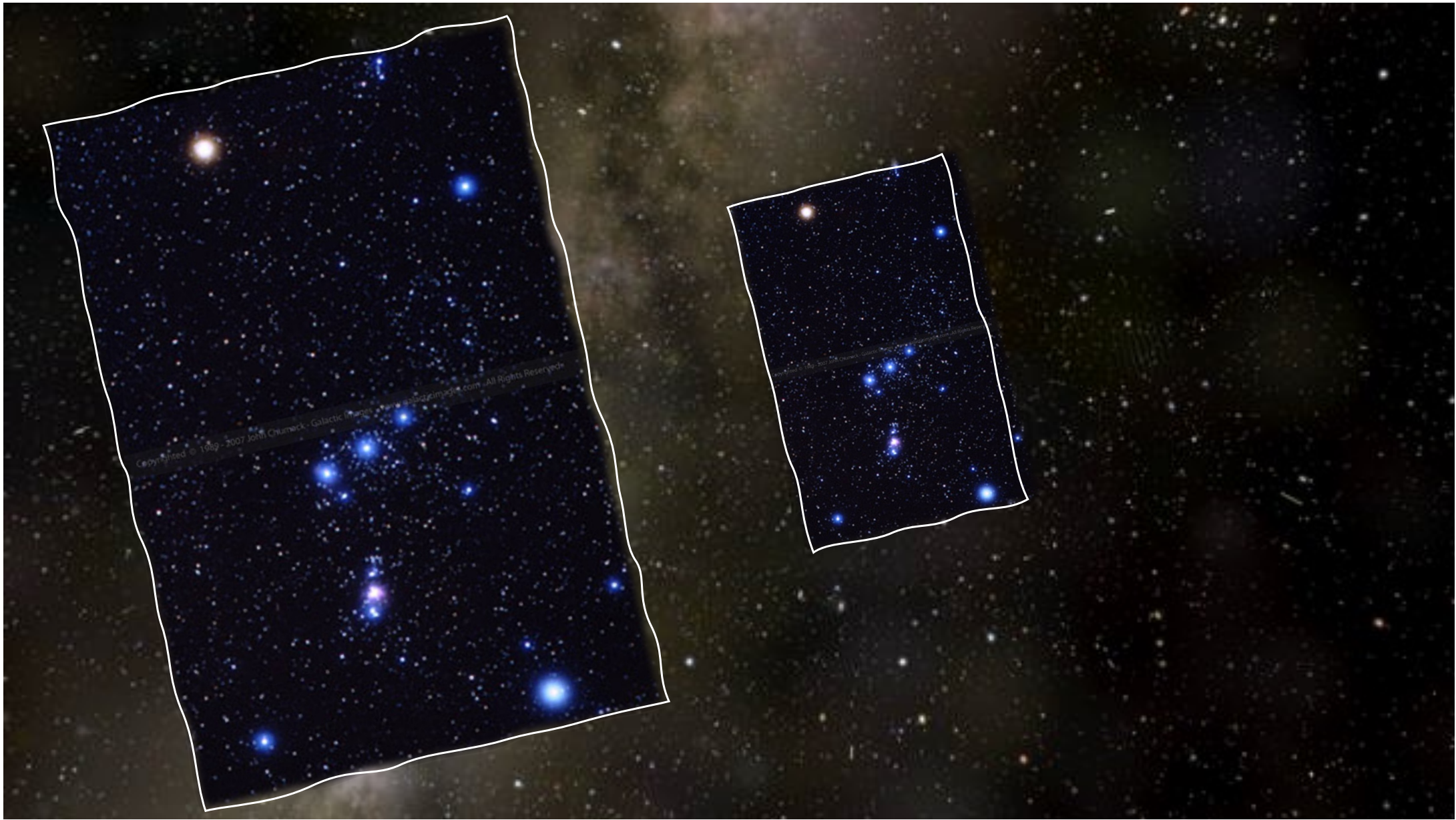


Les galaxies elliptiques



Les galaxies irrégulières





Plan

- Qu'est-ce qu'une galaxie ?
- **La « préhistoire » de l'astrophysique extragalactique (jusqu'au XX^{ème} siècle)**
- Le grand débat (1920 – 1924)
- La révolution du XX^{ème} siècle
 - La fourchette de Hubble
 - La matière sombre
 - L'évolution de la morphologie des galaxies avec les âges cosmiques
 - La formation et l'évolution des galaxies avec les âges cosmiques
 - Les résultats les plus récents du JWST sur les galaxies dans l'Univers jeune
- Les résultats les plus récents du JWST sur les galaxies dans l'Univers jeune
- Les premières étoiles et galaxies apparues dans l'Univers
- Fin



PRÉHISTOIRE

Au temps
Au temps des
premiers humains



- 30 000

- 9 000



Que pensaient-ils ?
Que savaient-ils ?



PRÉHISTOIRE

Au temps
Au temps des
premiers humains



- 30 000

- 9 000

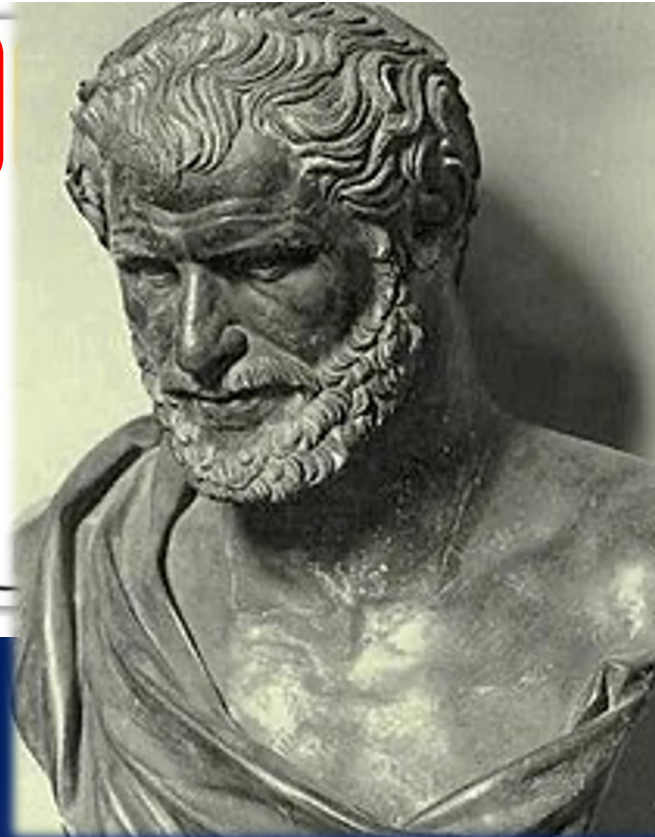
ANTIQUITÉ

Au temps des Grecs,
des Romains et des Gaulois



- 3000

0 (JC)



Démocrète aurait écrit :
« Tout ce qui existe dans l'univers est le fruit du hasard et de la nécessité »



400 ans av. J.-C. : Démocrète propose que la bande brillante visible dans le ciel nocturne connue sous le nom de Voie lactée puisse être constituée d'étoiles.

PRÉHISTOIRE

Au temps
Au temps des
premiers humains



- 30 000

- 9 000

ANTIQUITÉ

Au temps des Grecs,
des Romains et des Gaulois



0 (JC)

MOYEN-ÂGE

Au temps des chevaliers
et des châteaux forts



476



La première mention écrite
de la galaxie d'Andromède
remonte à 964.

Andromède est décrite par
Abd al-Rahman al-Soufi dans
son Livre des étoiles fixes.





Wright est connu pour son ouvrage “Une théorie originale ou une nouvelle hypothèse sur l'univers” publié en 1750, dans lequel il explique l'apparence de la Voie lactée comme étant un effet optique dû à l'immersion de la Terre dans une couche plate composée d'étoiles de faible luminosité.

Cette idée sera ensuite reprise et développée par Emmanuel Kant.



PRÉHISTOIRE

Au temps
Au temps des
premiers humains



- 30 000

- 9 000

ANTIQUITÉ

Au temps des Grecs,
des Romains et des Gaulois



- 3000

0 (JC)

MOYEN-ÂGE

Au temps des chevaliers
et des châteaux forts



476

TEMPS MODERNES

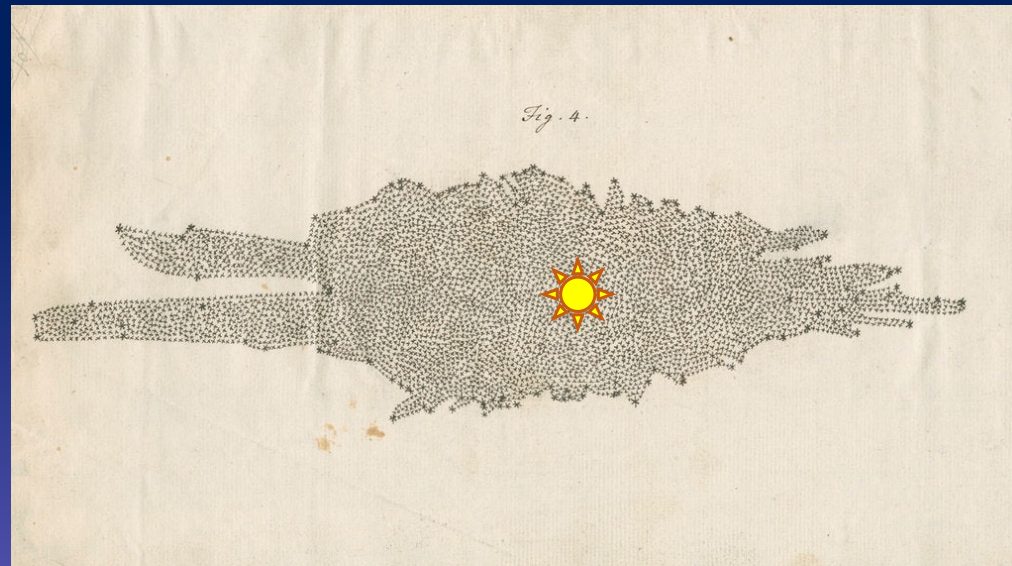
Au temps
des rois absolus



1492



William Herschel (1738-1822)
Caroline Herschel (1750-1848)



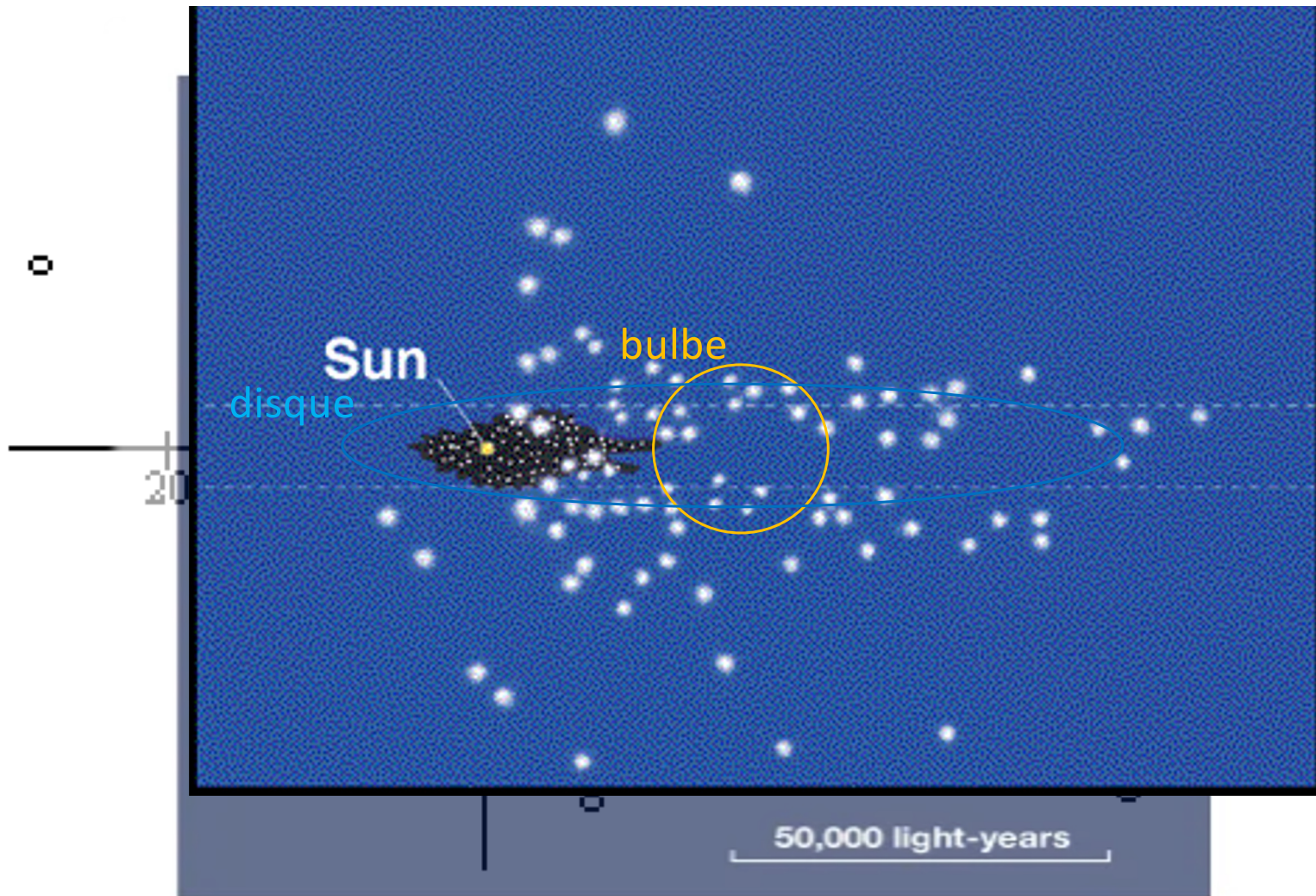


www.spacetelescope.org

NOTRE ÉPOQUE

Au temps des inventions,
des grands-parents et parents

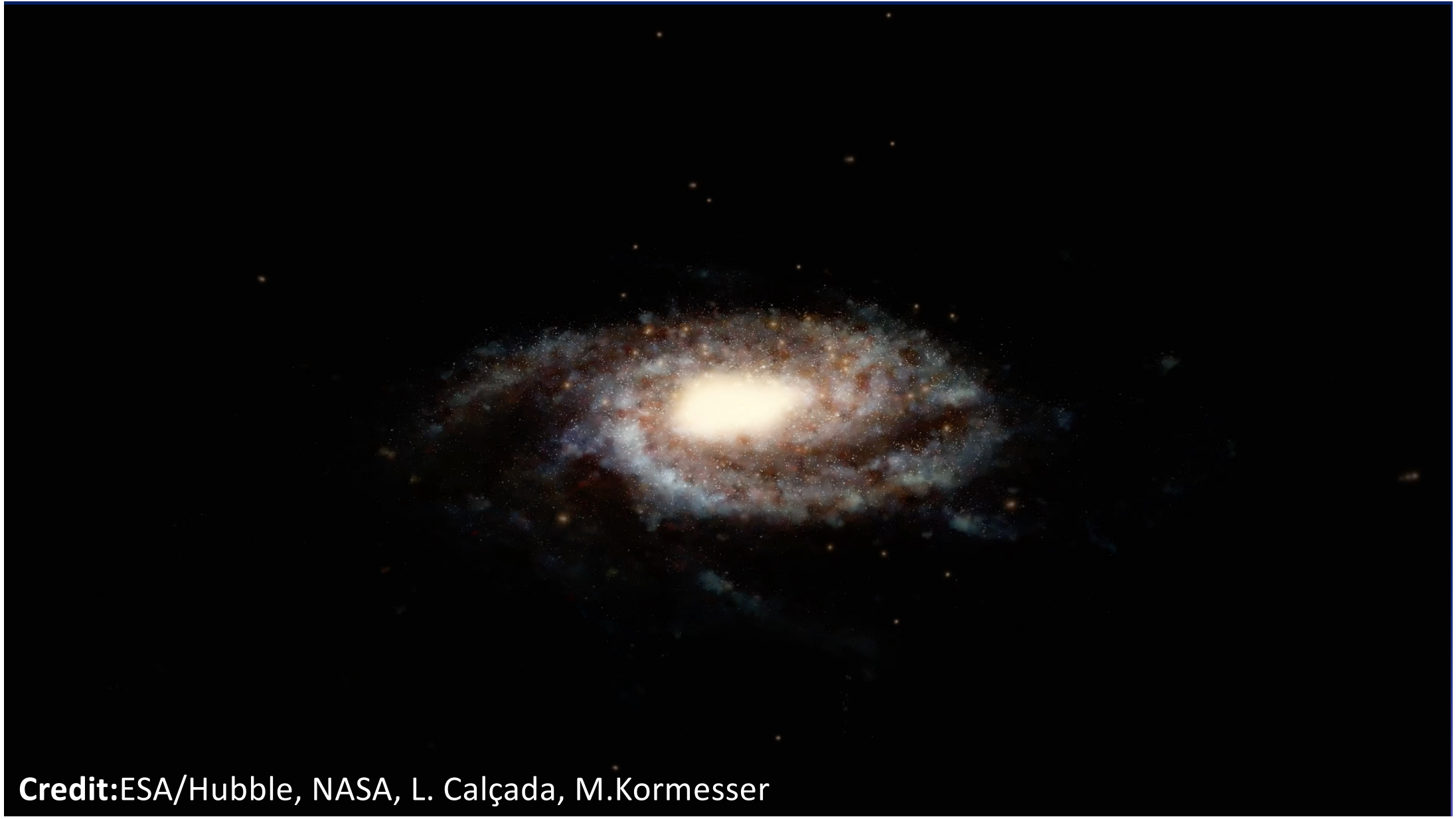




NOTRE ÉPOQUE

Au temps des inventions,
des grands-parents et parents





Credit:ESA/Hubble, NASA, L. Calçada, M.Kormmesser

Plan

- Qu'est-ce qu'une galaxie ?
- La « *préhistoire* » de l'astrophysique extragalactique (jusqu'au XX^{ème} siècle)
- **Le grand débat (1920 – 1924)**
- La révolution du XX^{ème} siècle
 - La fourchette de Hubble
 - La matière sombre
 - L'évolution de la morphologie des galaxies avec les âges cosmiques
 - La formation et l'évolution des galaxies avec les âges cosmiques
 - Les résultats les plus récents du JWST sur les galaxies dans l'Univers jeune
- Les résultats les plus récents du JWST sur les galaxies dans l'Univers jeune
- Les premières étoiles et galaxies apparues dans l'Univers
- Fin

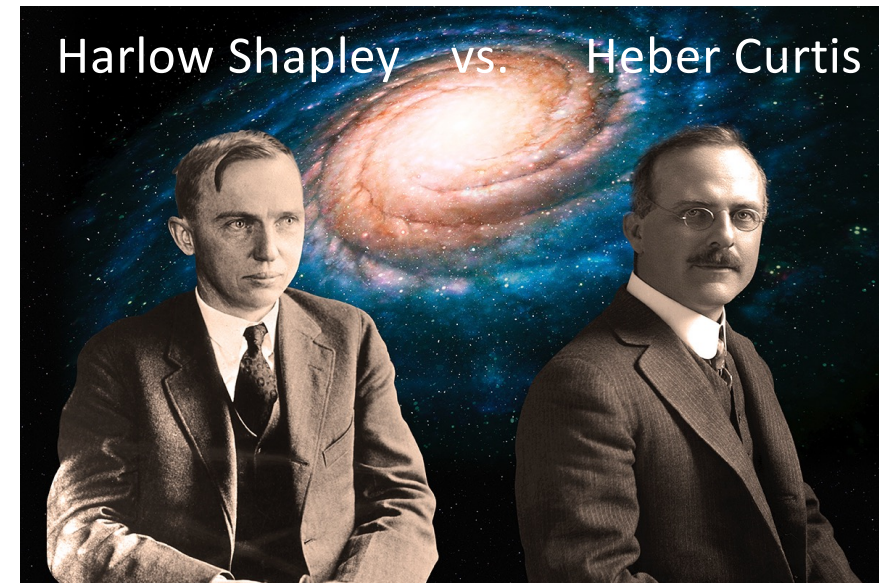


Le « Grand Débat »

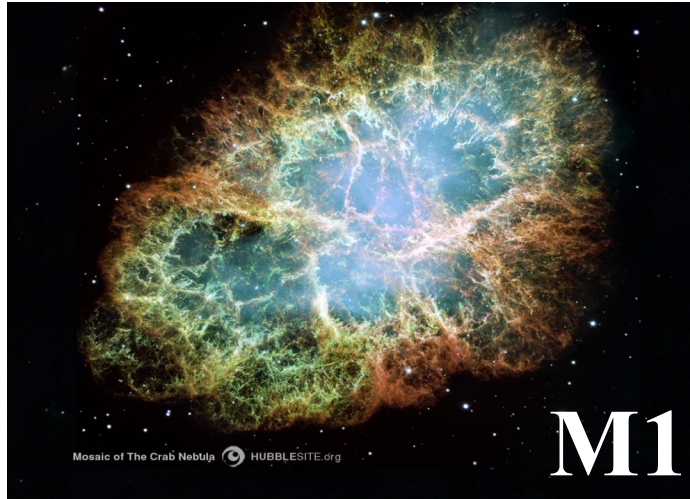
Le grand débat est le nom donné aux discussions qui ont lieu au début des années 1920 sur la nature de ce qui est à l'époque appelé les « **nébuleuses** ».

Ce débat porte sur la **nature et la distance** de ces objets, et par suite de **leur nature galactique ou extragalactique**.

La date la plus célèbre de ce débat est celle du **26 avril 1920** au *National Museum of Natural History* à Washington DC.

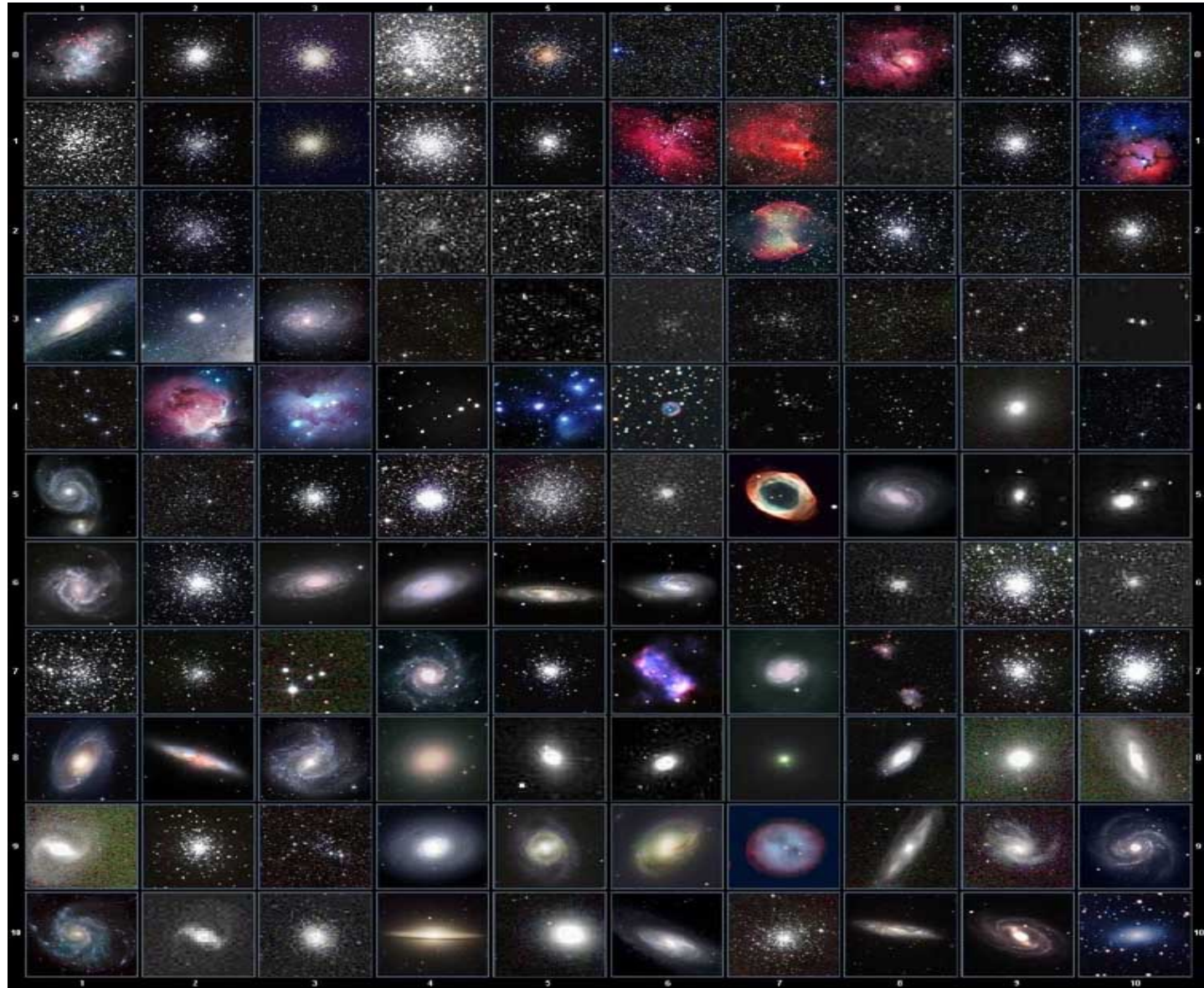


Charles Messier
(1730 – 1817) était un
astronome français qui
a publié un catalogue
de 110 objets dans le
ciel profond:
nébuleuses, amas
stellaires et galaxies
(mais sans en
connaître la nature).



Charles Messier

(1730 – 1817) était un astronome français qui a publié un catalogue de 110 objets dans le ciel profond: nébuleuses, amas stellaires et galaxies (mais sans en connaître la nature).



Le « Grand Débat »

Shapley : l'Univers observable ne s'étend pas au-delà de la Voie lactée. Tout ce qui est observé se trouve dans la Voie Lactée.



Curtis : il y a d'autres "univers-îles" (galaxies) au-delà des limites de la Voie Lactée, qui n'est qu'une galaxie parmi d'autres.

Harlow Shapley vs. Heber Curtis



La date la plus célèbre de ce débat est le **26 avril 1920** au *National Museum of Natural History*.

Le « Grand Débat »

Shapley : l'Univers observable ne s'étend pas au-delà de la Voie lactée. Tout ce qui est observé se trouve dans la Voie Lactée.



Voie Lactée

Curtis : il y a d'autres "univers-îles" (galaxies) au-delà des limites de la Voie Lactée, qui n'est qu'une galaxie parmi d'autres.

Harlow Shapley vs. Heber Curtis

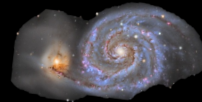


La date la plus célèbre de ce débat est le **26 avril 1920** au *National Museum of Natural History*.

Le « Grand Débat »



Voie Lactée



Le Grand Débat est clos en 1924 par Edwin Hubble qui détecte des étoiles variables dans plusieurs de ces *nébuleuses* (NGC 6822, M331, M32 et M31 notamment), permettant d'en **mesurer la distance** et donc de prouver la **nature extragalactique** de ces objets

Le 19 février 1924, Edwin Hubble écrivit une lettre à Harlow Shapley, lui racontant sa découverte.

En lisant la lettre, Shapley aurait dit à un collègue : « **Voici la lettre qui a détruit mon univers.** »

Plan

- Qu'est-ce qu'une galaxie ?
- La « *préhistoire* » de l'astrophysique extragalactique (jusqu'au XX^{ème} siècle)
- Le grand débat (1920 – 1924)
- **La révolution du XX^{ème} siècle**
 - La fourchette de Hubble
 - La matière sombre
 - L'évolution de la morphologie des galaxies avec les âges cosmiques
 - La formation et l'évolution des galaxies avec les âges cosmiques
 - Les résultats les plus récents du JWST sur les galaxies dans l'Univers jeune
- Les résultats les plus récents du JWST sur les galaxies dans l'Univers jeune
- Les premières étoiles et galaxies apparues dans l'Univers
- Fin



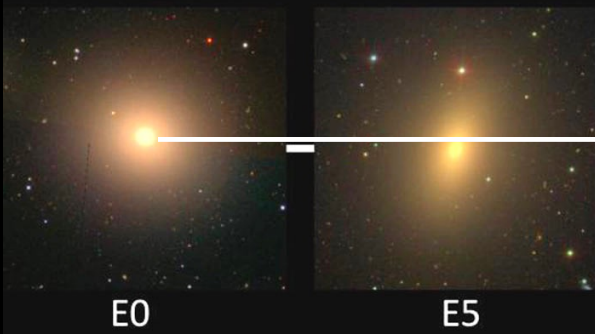
Plan

- Qu'est-ce qu'une galaxie ?
- La « *préhistoire* » de l'astrophysique extragalactique (jusqu'au XX^{ème} siècle)
- Le grand débat (1920 – 1924)
- **La révolution du XX^{ème} siècle**
 - **La fourchette de Hubble et le décalage spectral (redshift)**
 - La matière sombre
 - L'évolution de la morphologie des galaxies avec les âges cosmiques
 - La formation et l'évolution des galaxies avec les âges cosmiques
 - Les résultats les plus récents du JWST sur les galaxies dans l'Univers jeune
- Les résultats les plus récents du JWST sur les galaxies dans l'Univers jeune
- Les premières étoiles et galaxies apparues dans l'Univers
- Fin



La fourchette de Hubble

Galaxies elliptiques



Sa

Sb

Sc

Galaxies spirales

Galaxies lenticulaires

S0

Galaxies spirales barrées

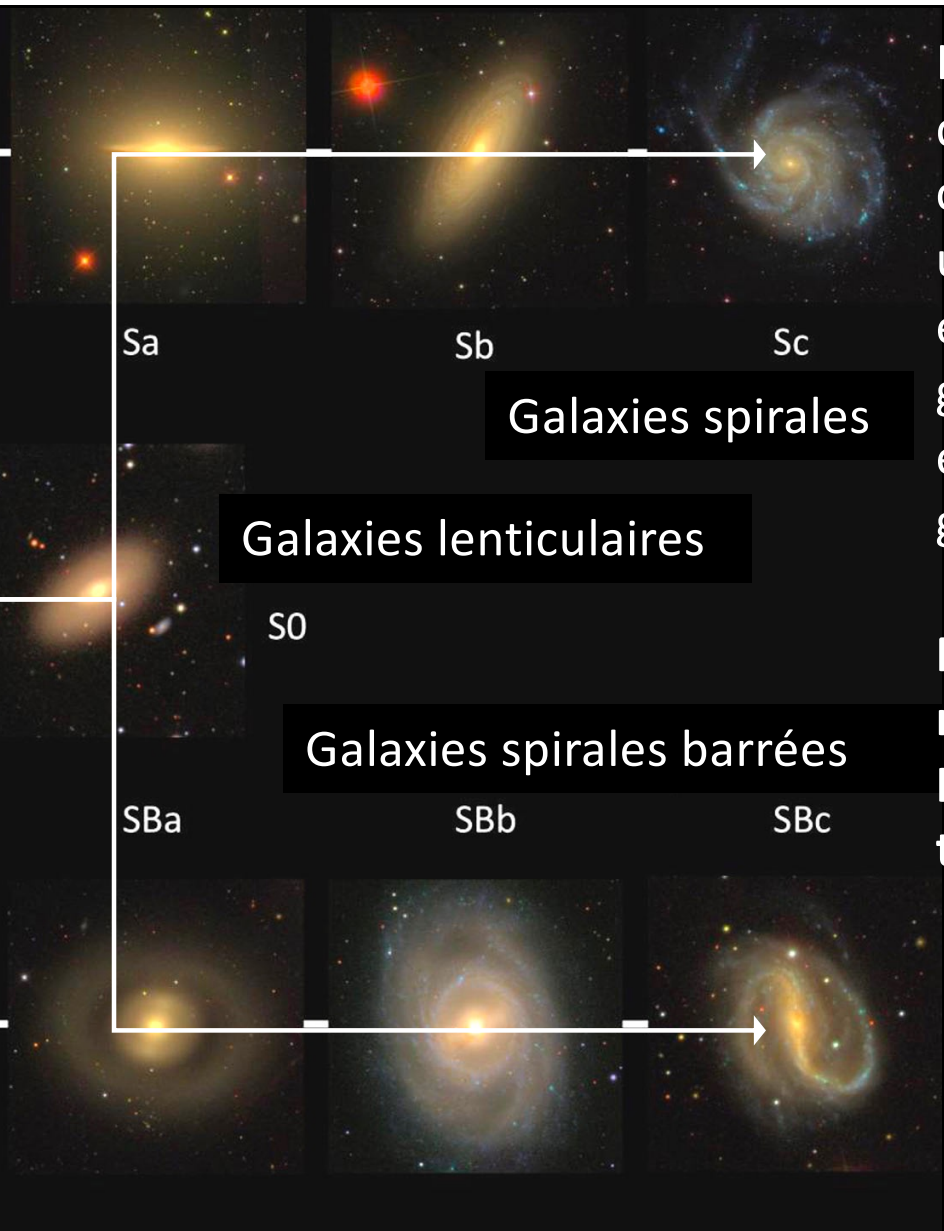
SBa

SBb

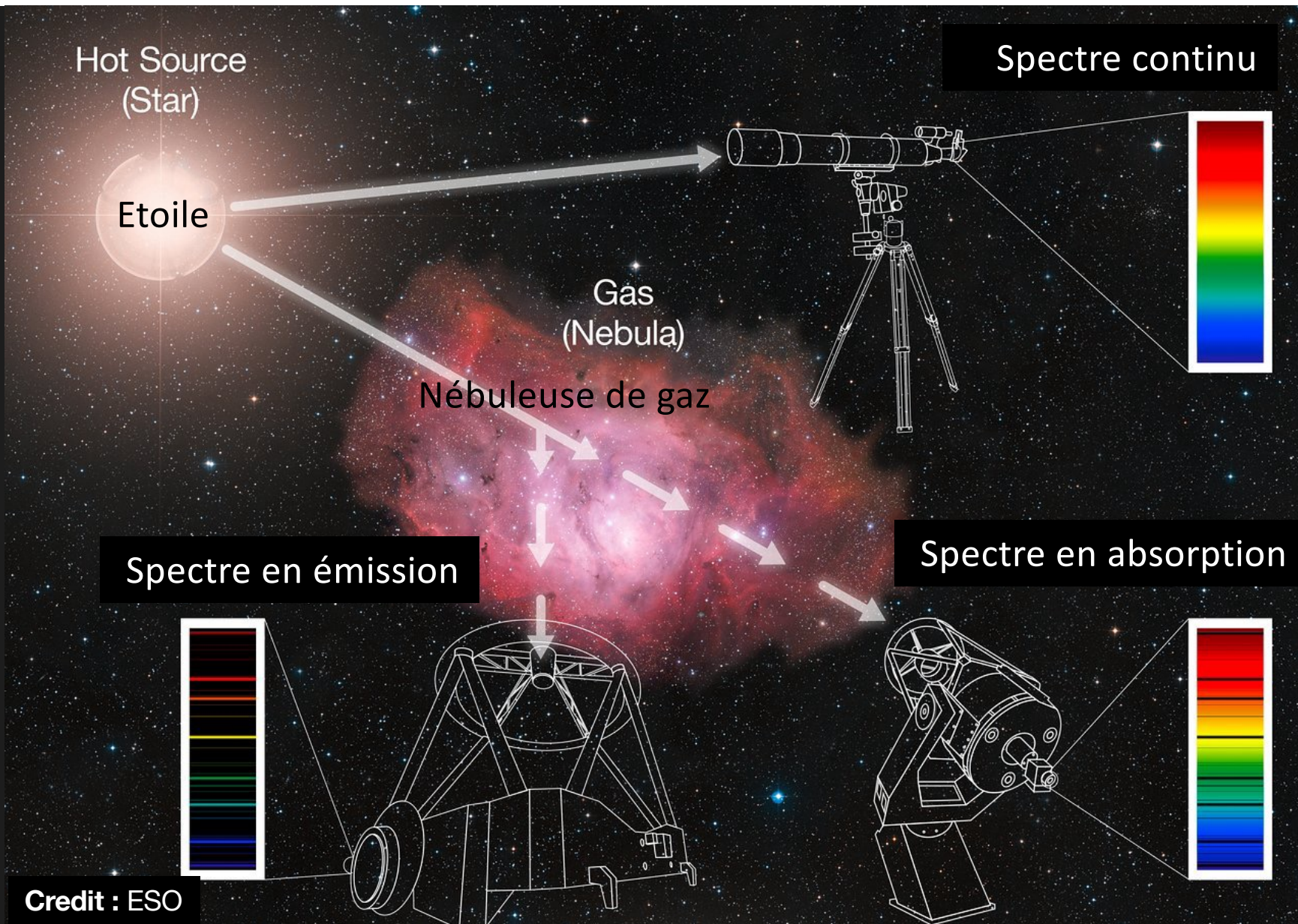
SBc

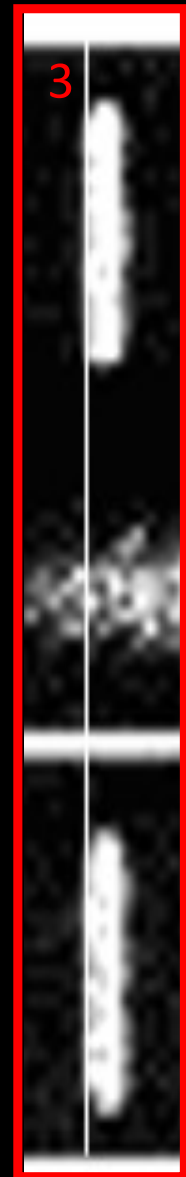
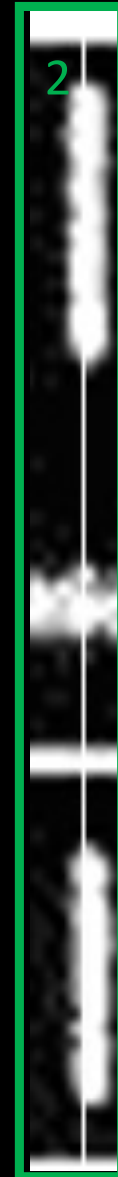
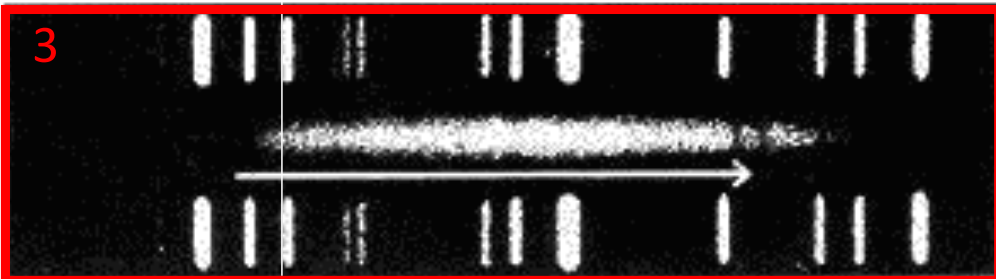
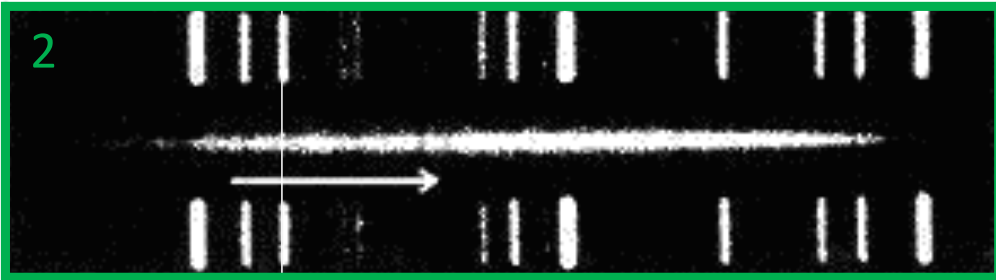
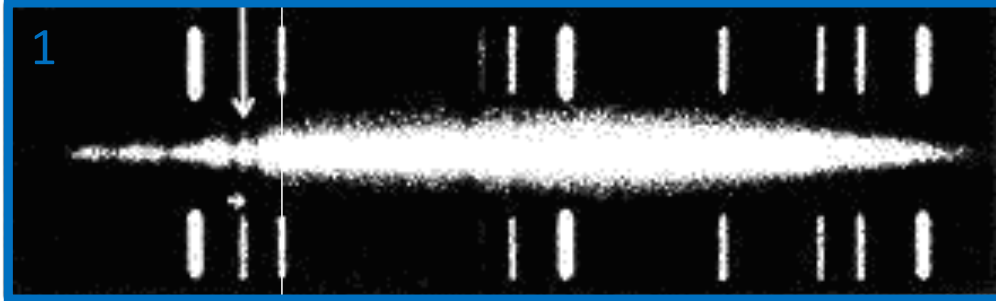
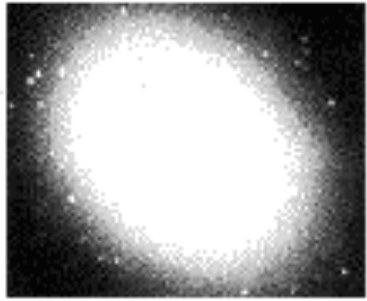
Hubble envisagea que cette classification soit une séquence évolutive où les galaxies elliptiques évoluent en galaxies spirales.

Nous savons maintenant que Hubble se trompait.



L'origine des raies d'émission dans les spectres





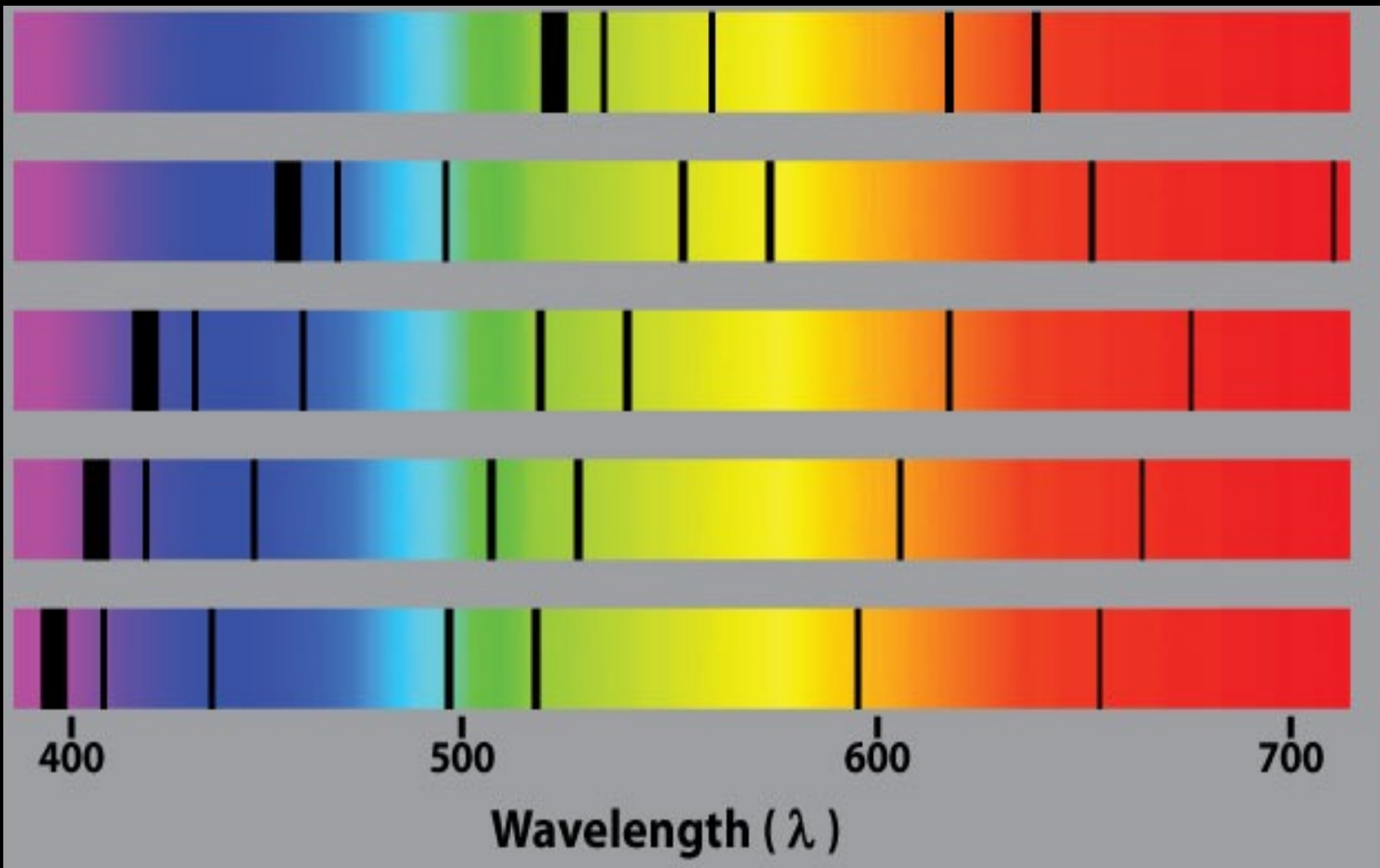
Galaxie très
lointaine

Galaxie
lointaine

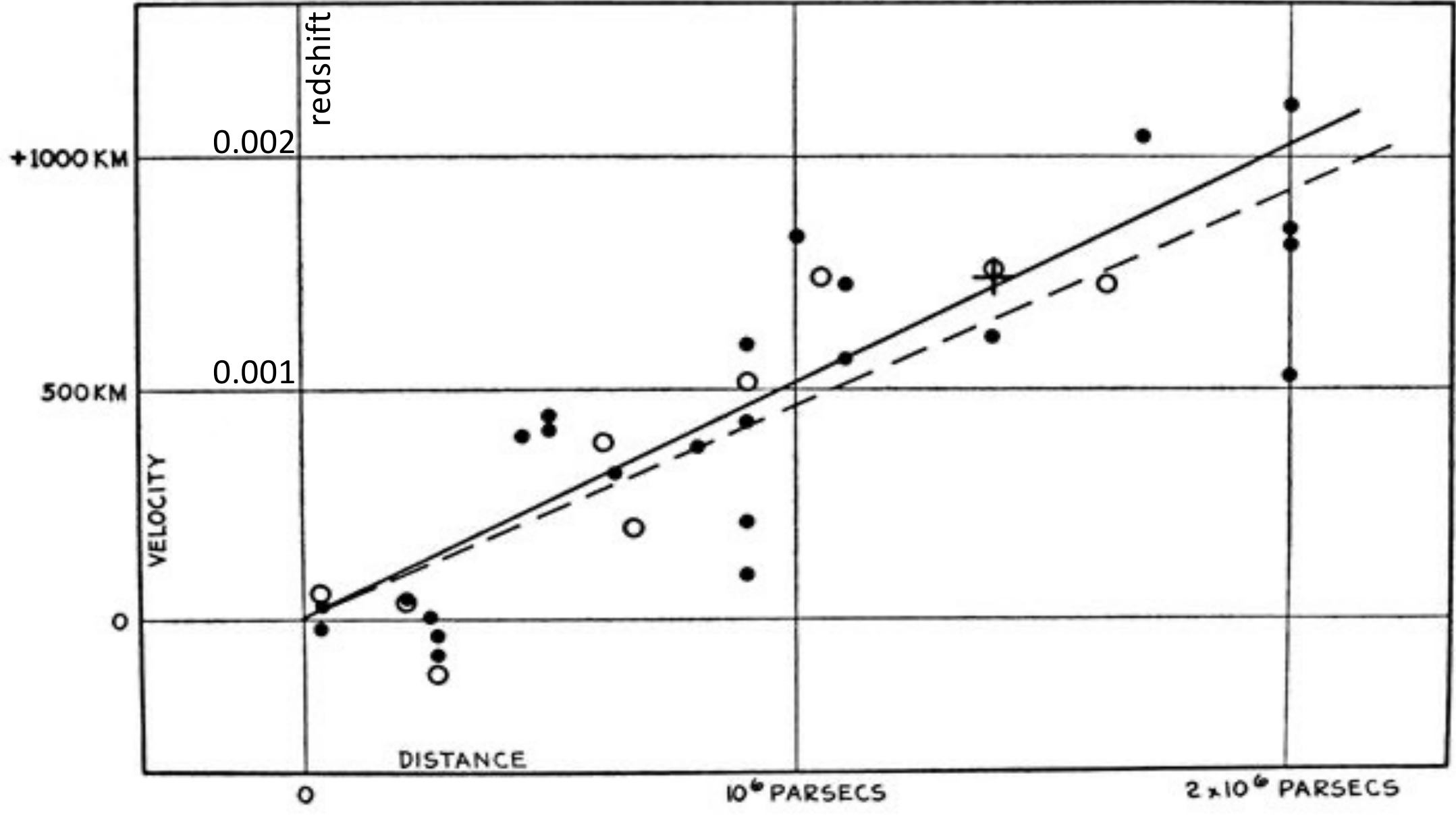
Galaxie
proche

Galaxie
très proche

Soleil



Les raies d'émission se décalent vers le rouge => red-shift



Plan

- Qu'est-ce qu'une galaxie ?
- La « *préhistoire* » de l'astrophysique extragalactique (jusqu'au XX^{ème} siècle)
- Le grand débat (1920 – 1924)
- **La révolution du XX^{ème} siècle**
 - La fourchette de Hubble et le décalage spectral (redshift)
 - **La matière sombre**
 - L'évolution de la morphologie des galaxies avec les âges cosmiques
 - La formation et l'évolution des galaxies avec les âges cosmiques
 - Les résultats les plus récents du JWST sur les galaxies dans l'Univers jeune
- Les résultats les plus récents du JWST sur les galaxies dans l'Univers jeune
- Les premières étoiles et galaxies apparues dans l'Univers
- Fin



En 1933, Fritz Zwicky* est le premier à suggérer la présence d'une matière invisible entre les galaxies dans l'amas de Coma. Mais il ne convaincra guère de l'importance de sa découverte, qui sera oubliée pendant près de quarante ans.

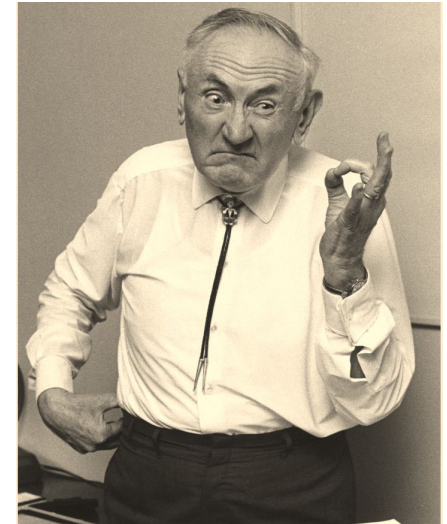
En 1959, Louise Volders démontra que la galaxie spirale M33 (la galaxie du Triangle) ne tourne pas comme on s'y attendait d'après la dynamique de Kepler, résultat qui s'étendit à de nombreuses autres galaxies spirales dans les années 1970.

En 1978, paraît la thèse d'Albert Bosma qui étend à 7 nouvelles galaxies les données sur la vitesse périphérique des galaxies.

La même année, Vera Rubin et ses collaborateurs publient leurs observations optiques réalisées sur différents types de galaxies spirales de haute luminosité.

Toutes ces mesures confirment que les courbes de rotation sont plates. Ils en concluent que qu'il existerait, à la périphérie des galaxies, des halos massifs dont la masse augmente avec la distance au centre galactique.

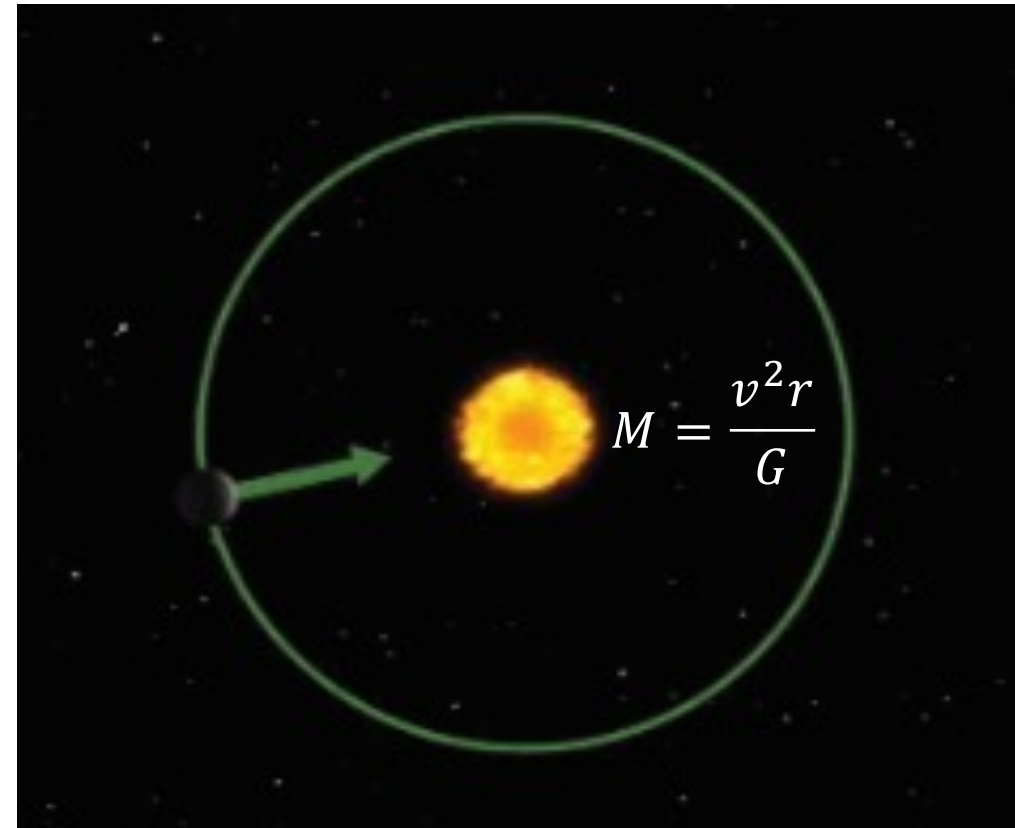
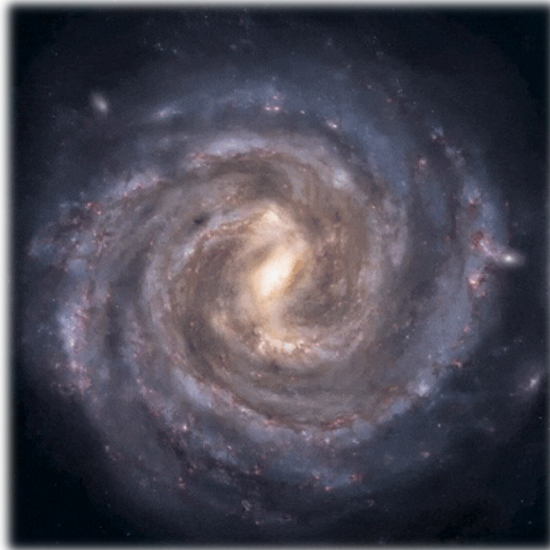
* Quand Lemaître et Hubble expliquent le décalage vers le rouge de la lumière venant des galaxies extérieures à la Voie lactée comme un effet Doppler-Fizeau dû à l'expansion de l'Univers, Zwicky considère que les vitesses impliquées sont trop importantes. Et il spéculé, *incorrectement*, que ce décalage est dû à une perte d'énergie des photons traversant l'énorme distance entre les galaxies.



La vitesse orbitale dépend de la masse de l'objet central.

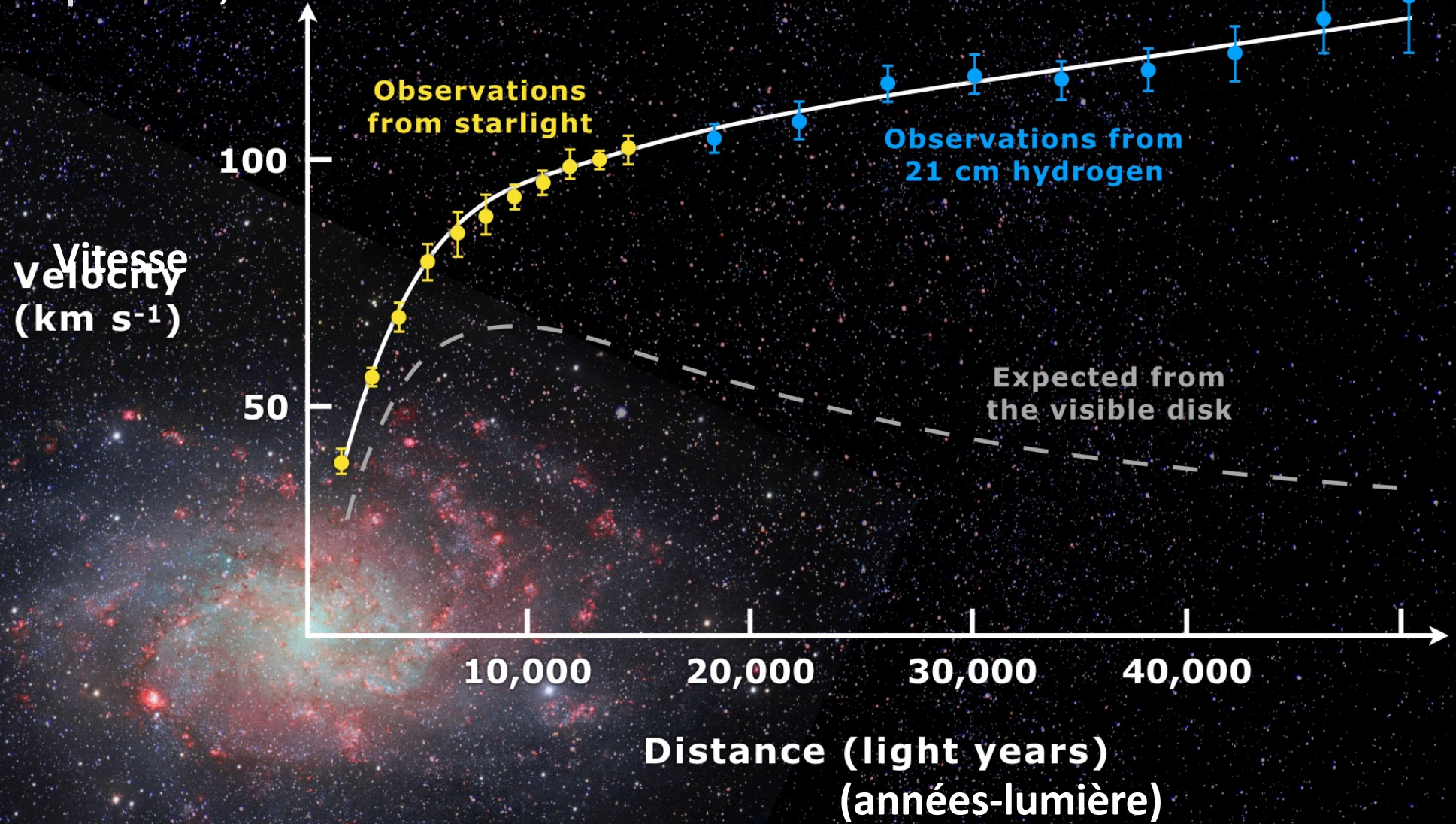
Dans le cadre du modèle Λ CDM, les galaxies tournent si vite que la gravité produite par la matière observable qu'elles contiennent ne peut pas les faire tenir ensemble.

C'est l'origine de l'apparition du concept de "**matière sombre**" (dark matter) : quelque chose que nous n'avons pas pu détecter directement donne aux galaxies une masse supplémentaire, qui produit le surplus de gravité.



La matière noire n'interagit pas avec la matière baryonique (« ordinaire »), ni avec les photons. Il est donc difficile de la détecter si ce n'est par son influence gravitationnelle.

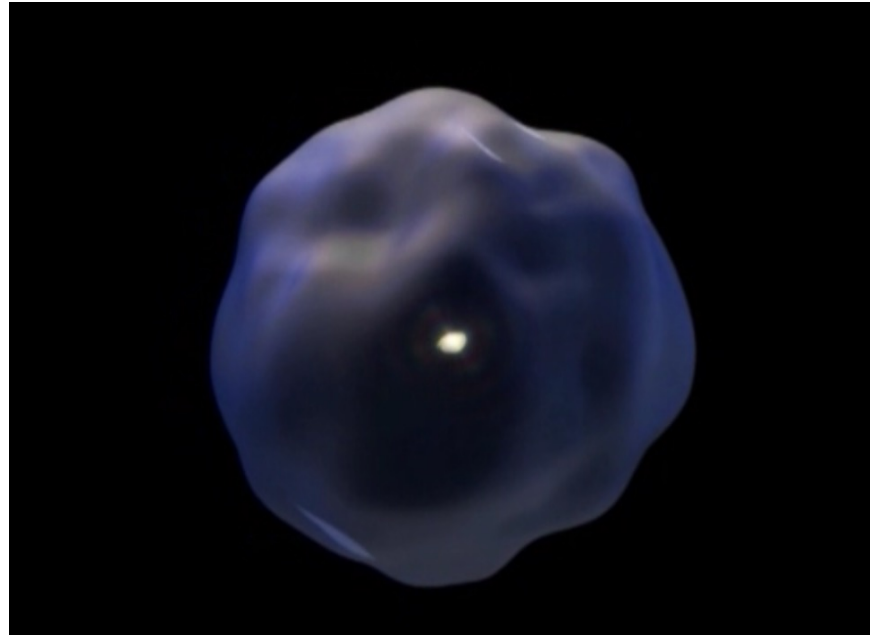
L'effet prédit, et observé



Vue ancienne



Vue moderne



Composition de la matière sombre 🤔

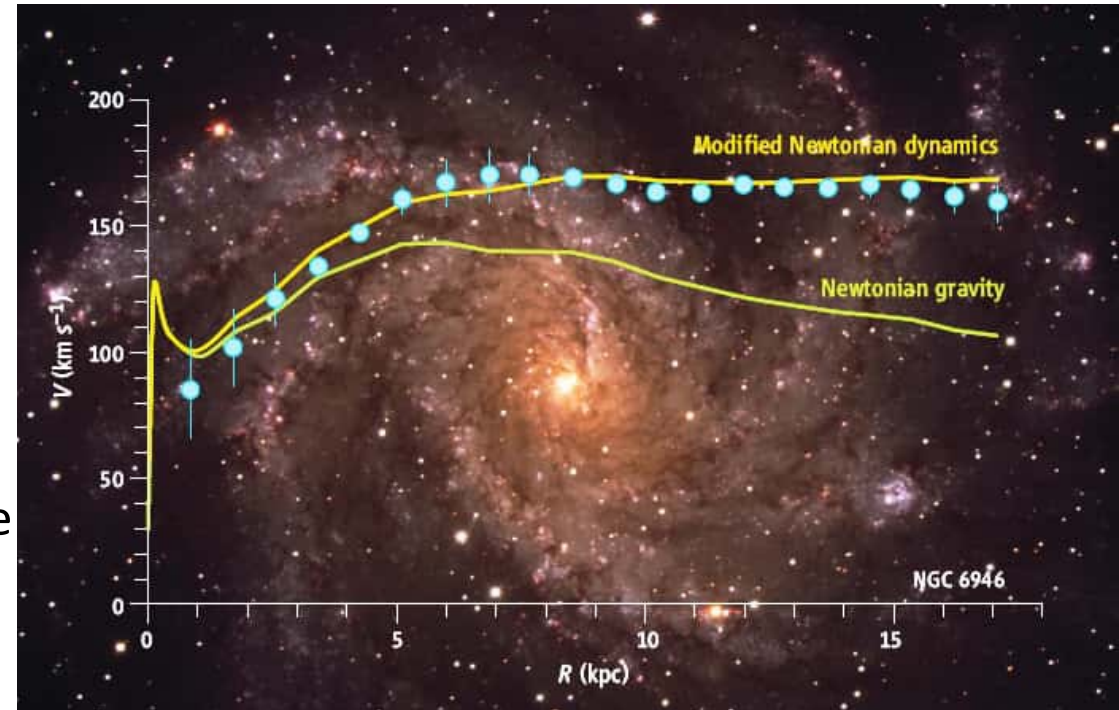
Différentes hypothèses sont explorées :

- Gaz moléculaire, étoiles mortes, naines brunes en grand nombre, trous noirs, etc.
- Cependant, les estimations de la densité de l'Univers et du nombre d'atomes impliquent une nature non baryonique.
- La matière sombre pourraient être d'autres particules, regroupées sous le nom générique de « Weakly interacting massive particles » (WIMP).

Une alternative : la théorie MOND ?

En 1983, Mordehai Milgrom propose une petite modification de la théorie de Newton.

La théorie de la dynamique newtonienne modifiée, en anglais **Modified Newtonian dynamics** (MOND), est une théorie physique, adaptée de la mécanique classique, proposée pour expliquer le problème de la courbe de rotation plate des galaxies spirales.



Elle constitue une alternative au concept de matière noire, dont l'existence n'a toujours pas pu être mise en évidence.

MOND repose sur une modification de la seconde loi de Newton aux accélérations très faibles.

Plan

- Qu'est-ce qu'une galaxie ?
- La « *préhistoire* » de l'astrophysique extragalactique (jusqu'au XX^{ème} siècle)
- Le grand débat (1920 – 1924)
- **La révolution du XX^{ème} siècle**
 - La fourchette de Hubble
 - La matière sombre
 - **L'évolution de la morphologie des galaxies avec les âges cosmiques**
 - La formation et l'évolution des galaxies avec les âges cosmiques
 - Les résultats les plus récents du JWST sur les galaxies dans l'Univers jeune
- Les résultats les plus récents du JWST sur les galaxies dans l'Univers jeune
- Les premières étoiles et galaxies apparues dans l'Univers
- Fin



L'évolution morphologique des galaxies avec les âges cosmiques

Pour détecter des preuves de l'évolution des galaxies, il faut observer les galaxies à un redshift élevé et mesurer les différences morphologiques.

- **Butcher et Oemler (1978)** avaient trouvé des preuves solides d'une évolution morphologique par le nombre de galaxies bleues dans des amas de galaxies et éloignés ($z = 0.4 - 0.5$).
- Ils ont suggéré que ces galaxies bleues sont des galaxies spirales qui sont devenues les galaxies S0 qui dominent les amas riches et proches.

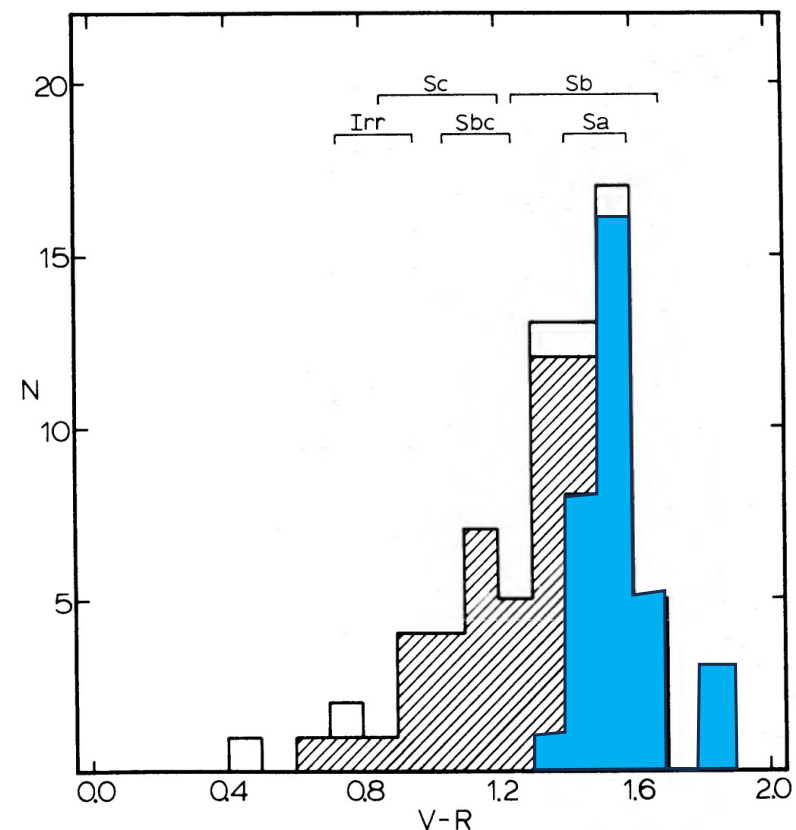


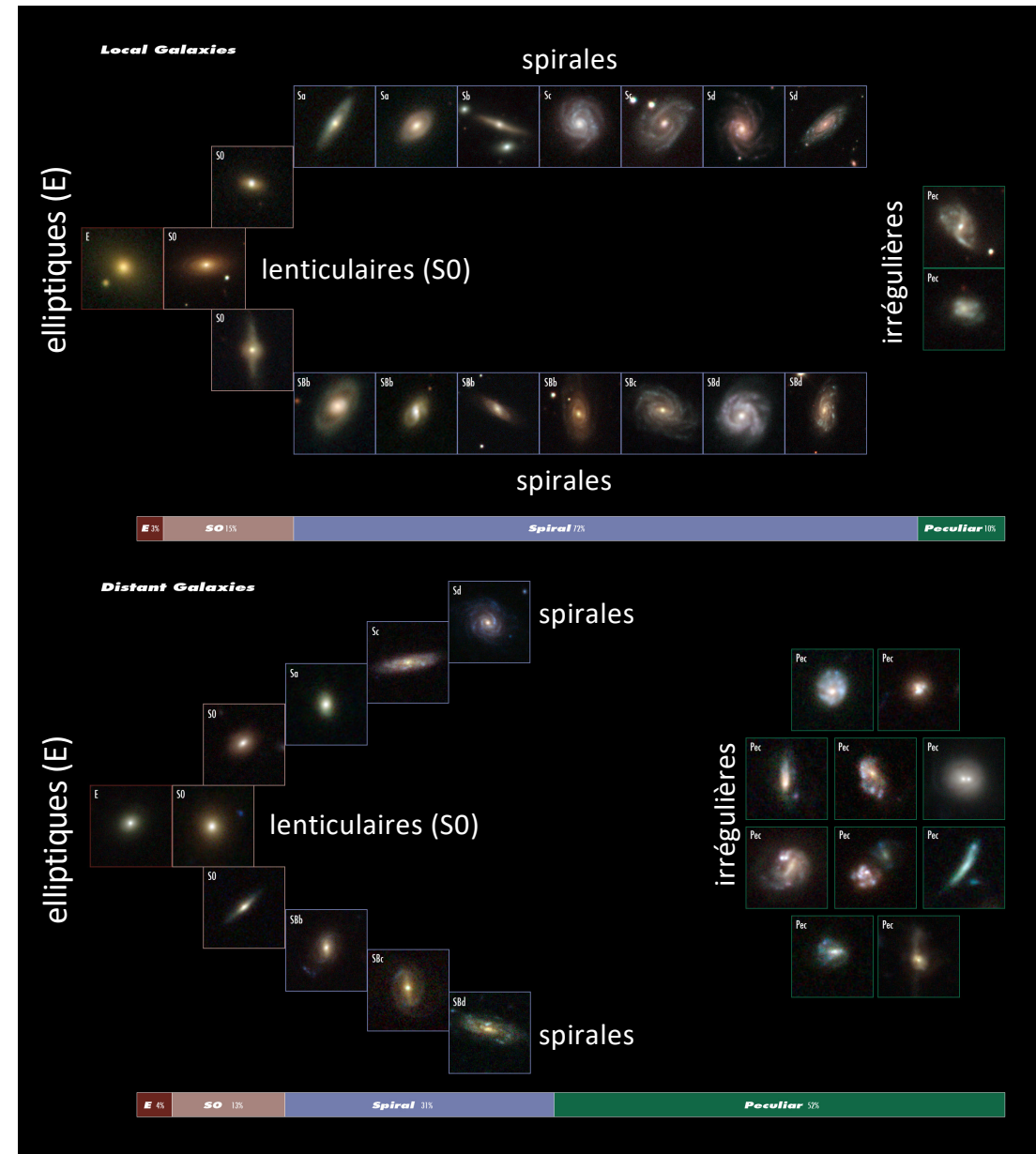
FIG. 17.—Most probable decomposition of population of galaxies within 1'0 of center of Cl 0024+1654. *Shaded area*, ellipticals and S0's; *hatched area*, spirals; remainder, background galaxies. Also shown are the expected ranges of color of various types of spiral galaxies.



Evolution du diagramme de Hubble

Cette image créée à partir de données prises à la fois par le télescope spatial Hubble de la NASA/ESA et par le Sloan Digital Sky Survey démontre que la séquence de Hubble d'il y a six milliards d'années était très différente de celle que les astronomes voient aujourd'hui.

Crédit: NASA, ESA, Sloan Digital Sky Survey, R. Delgado-Serrano et F. Hammer (Observatoire de Paris)



Plan

- Qu'est-ce qu'une galaxie ?
- La « *préhistoire* » de l'astrophysique extragalactique (jusqu'au XX^{ème} siècle)
- Le grand débat (1920 – 1924)
- **La révolution du XX^{ème} siècle**
 - La fourchette de Hubble
 - La matière sombre
 - L'évolution de la morphologie des galaxies avec les âges cosmiques
 - **La formation et l'évolution des galaxies avec les âges cosmiques**
 - Les résultats les plus récents du JWST sur les galaxies dans l'Univers jeune
- Les résultats les plus récents du JWST sur les galaxies dans l'Univers jeune
- Les premières étoiles et galaxies apparues dans l'Univers
- Fin



LA FORMATION ET L'ÉVOLUTION DES GALAXIES

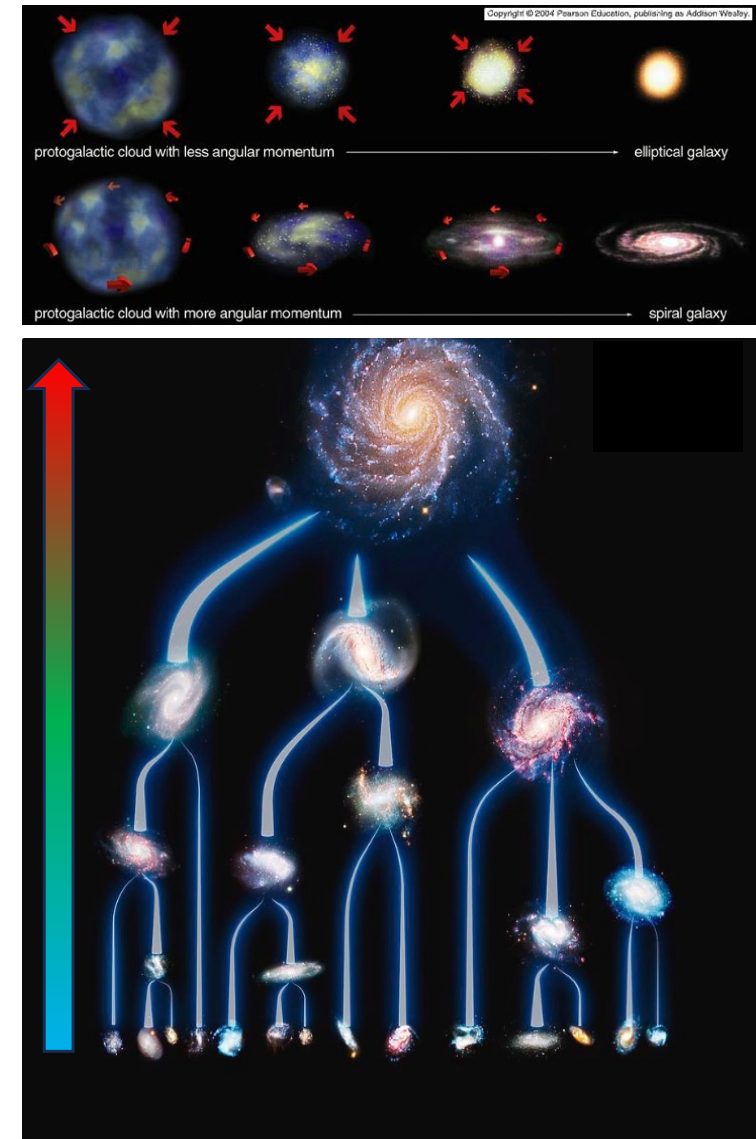
AVEC LES ÂGES COSMIQUES

Eggen, Lynden-Bell, et Sandage ont proposé en 1962 une théorie selon laquelle les galaxies à disques se forment par un effondrement monolithique de grands nuages de gaz, qui deviennent des disques.

Connu comme un scénario de formation vers le bas (*upside-down* ↓) n'est probablement pas valide pour toutes les galaxies.

Des observations de l'Univers jeune suggèrent une croissance des objets qui se déroule vers le haut (*bottom-up* ↑ cad de petits objets fusionnent pour en donner de plus gros).

Il est maintenant envisagé que nous avons une formation dite hiérarchique pour les galaxies de type spirale, et certaines elliptiques. Et une formation (peut-être) monolithique pour les elliptiques les plus massives.

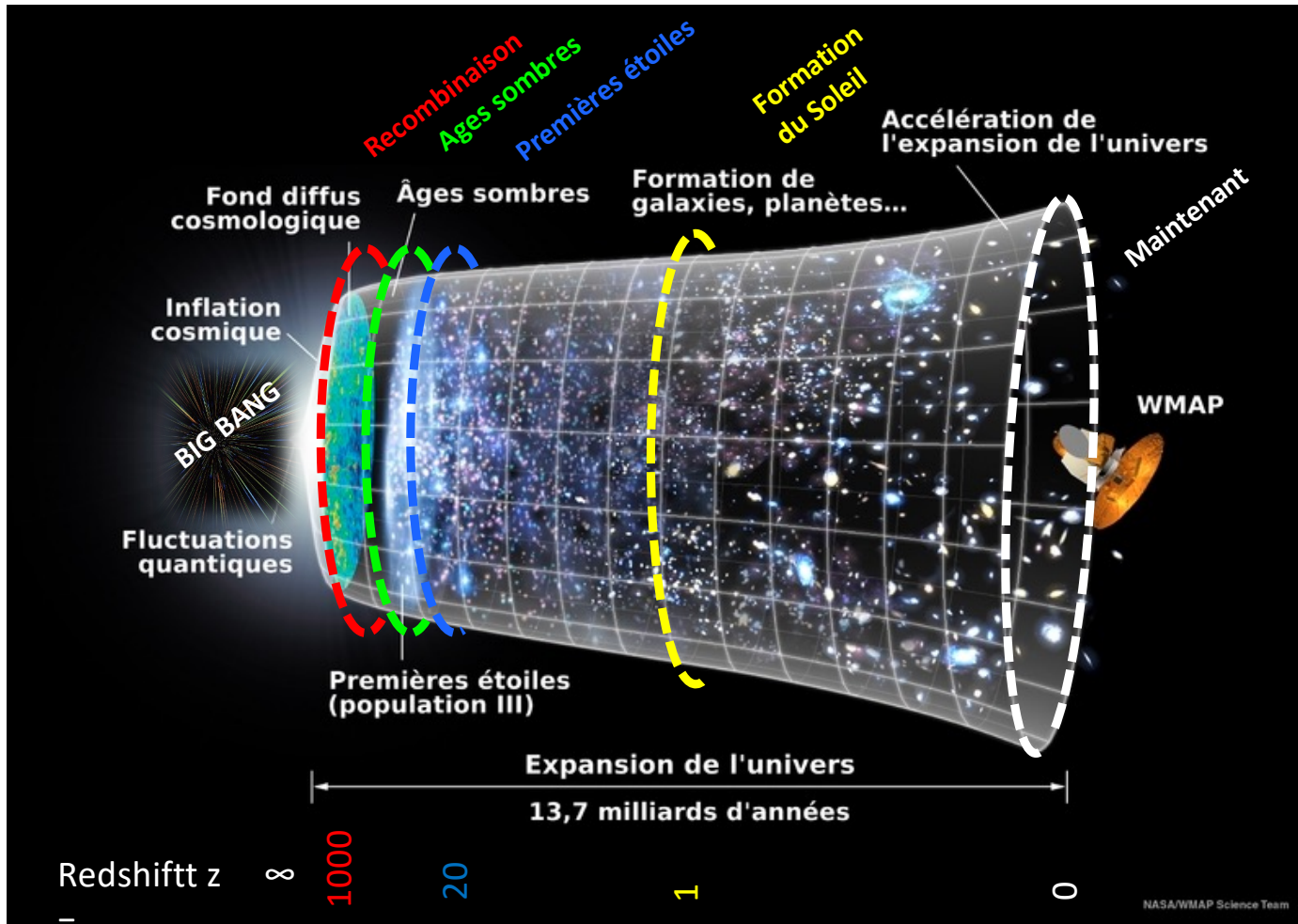


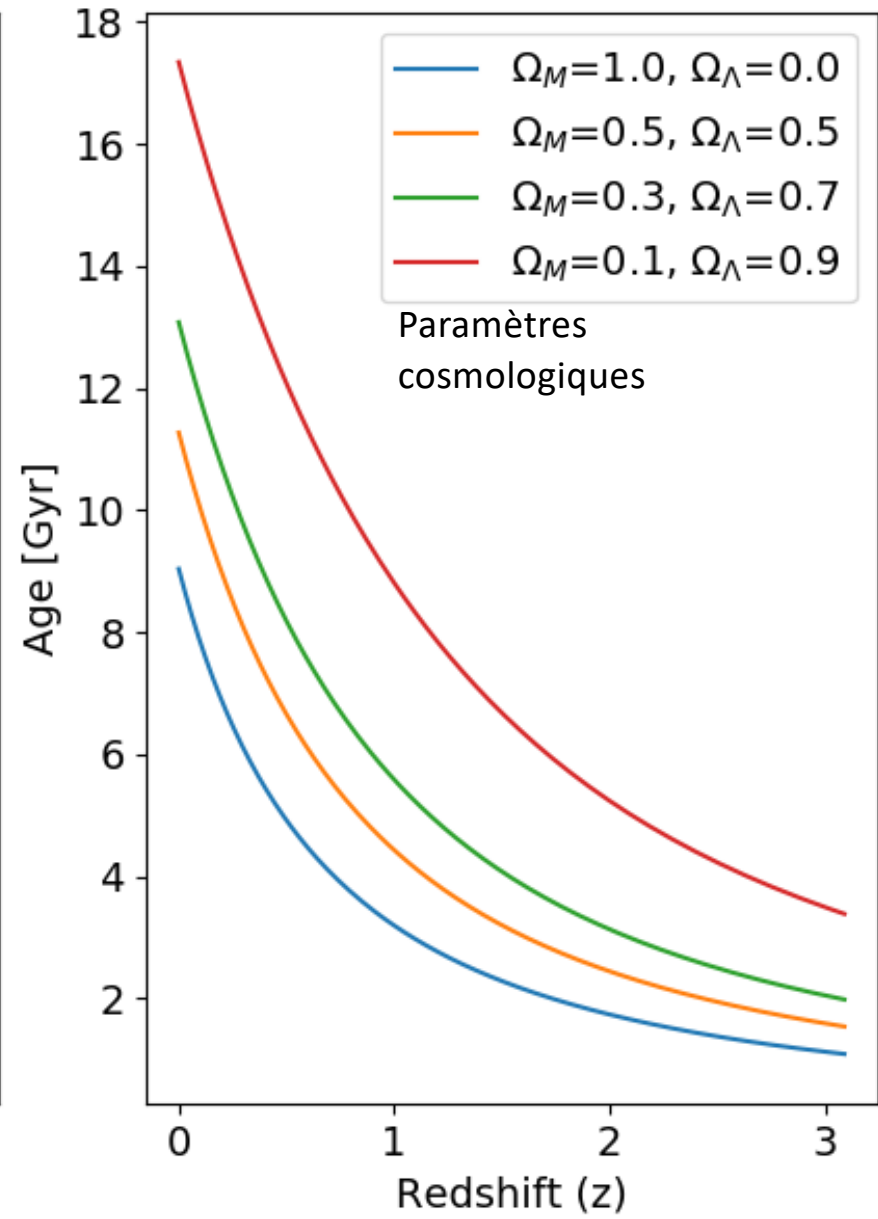
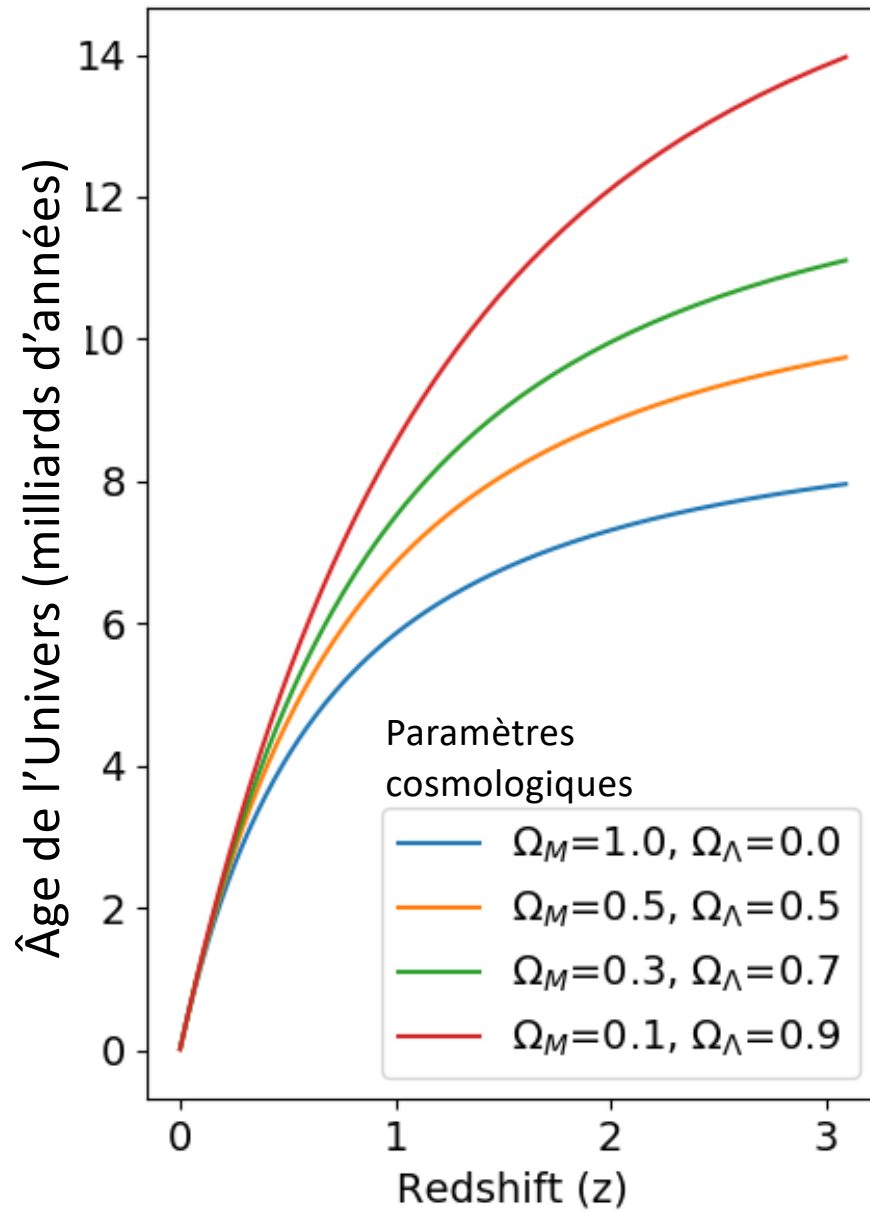
Plan

- Qu'est-ce qu'une galaxie ?
- La « *préhistoire* » de l'astrophysique extragalactique (jusqu'au XX^{ème} siècle)
- Le grand débat (1920 – 1924)
- La révolution du XX^{ème} siècle
 - La fourchette de Hubble
 - La matière sombre
 - L'évolution de la morphologie des galaxies avec les âges cosmiques
 - La formation et l'évolution des galaxies avec les âges cosmiques
 - Les résultats les plus récents du JWST sur les galaxies dans l'Univers jeune
- **Les résultats les plus récents du JWST sur les galaxies dans l'Univers jeune**
- Les premières étoiles et galaxies apparues dans l'Univers
- Fin



Un court résumé de l'histoire de l'univers





Orbite de la Terre

Orbite du JWST

Webb's Orbit

Earth's Orbit

Où se trouve le JWST ?

L2

Terre

1 500 000 km

Earth

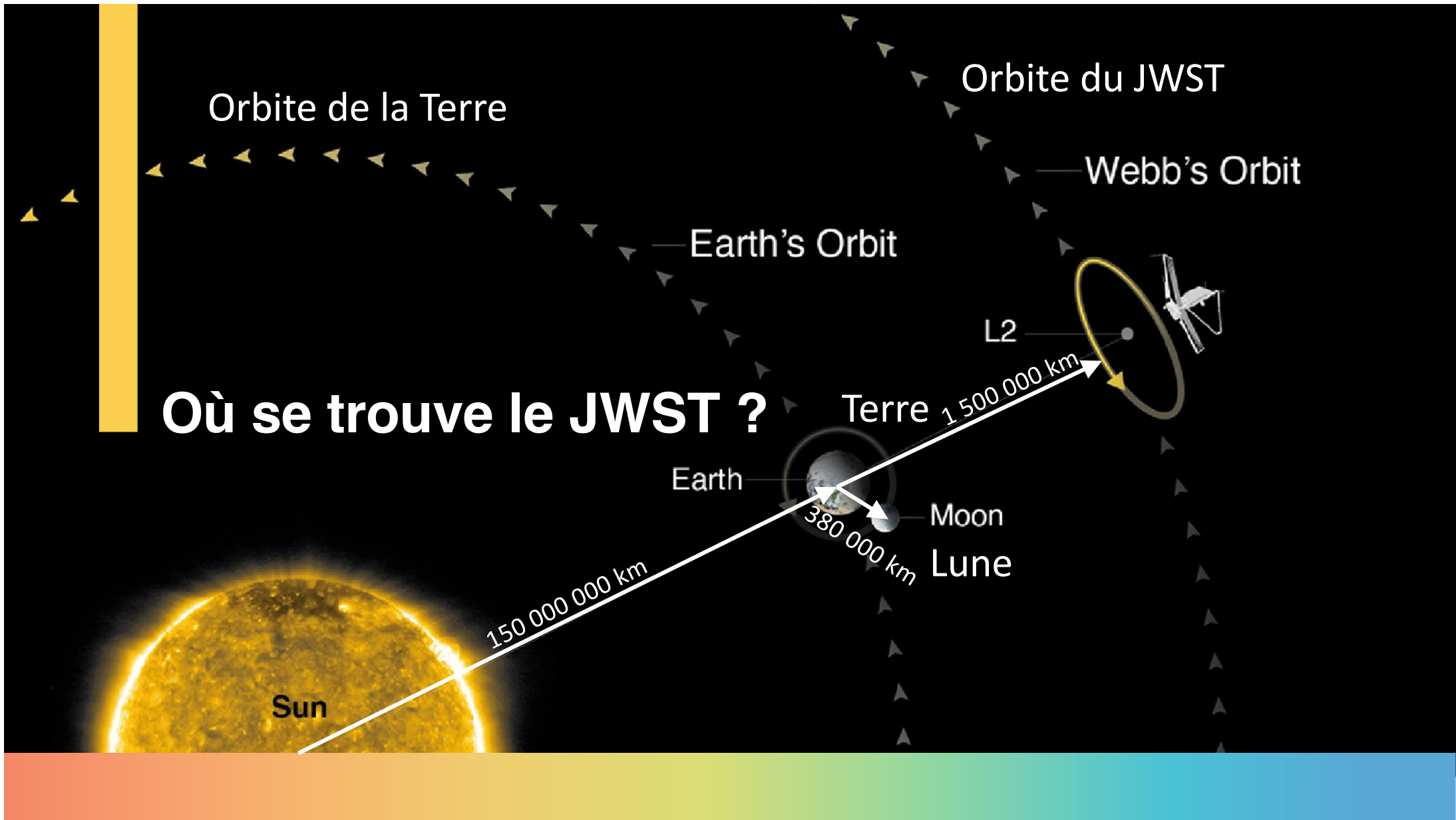
380 000 km

Moon

Lune

Sun

150 000 000 km



Les trous noirs hyper-massifs dans l'Univers primordial

Cosmic Evolution Early Release Science (CEERS).



Le champ CEERS observé par le James Webb Space Telescope.

Le JWST a passé moins d'une heure à capturer chaque image dans ce champ.

Ensemble, ils montrent environ 100 000 galaxies.

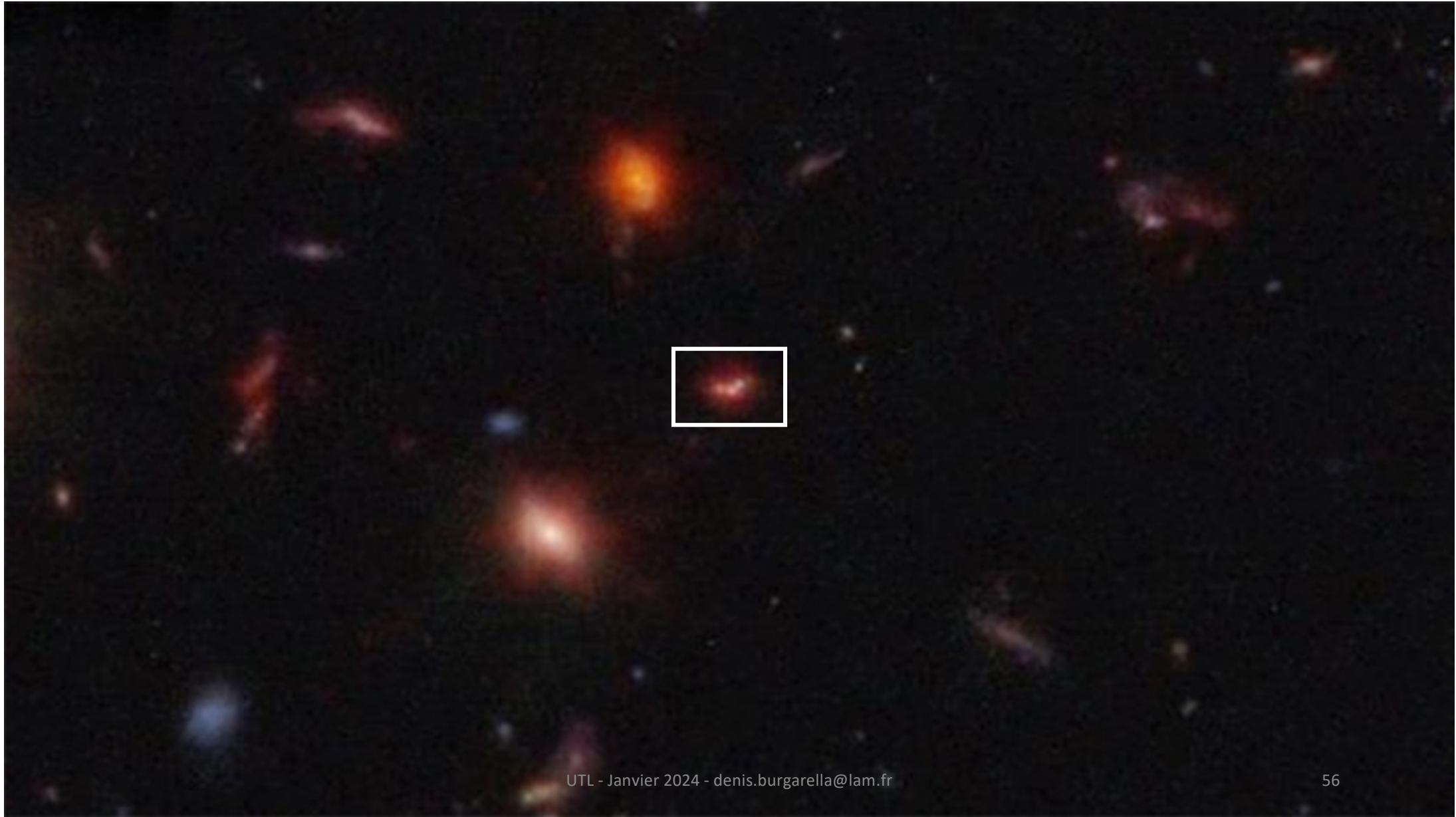
A CEERS Discovery of an Accreting Supermassive Black Hole 570 Myr after the Big Bang: Identifying a Progenitor of Massive $z > 6$ Quasars

Rebecca L. Larson^{1,40}, Steven L. Finkelstein¹, Dale D. Kocevski², Taylor A. Hutchison^{3,41}, Jonathan R. Trump⁴, Pablo Arrabal Haro⁵, Volker Bromm⁶, Nikko J. Cleri^{7,8}, Mark Dickinson⁵, Seiji Fujimoto¹, Jeyhan S. Kartaltepe⁹, Anton M. Koekemoer¹⁰, Casey Papovich^{7,8}, Nor Pirzkal¹¹, Sandro Tacchella^{12,13}, Jorge A. Zavala¹⁴, Micaela Bagley¹, Peter Behroozi^{15,16}, Jaclyn B. Champagne¹⁷, Justin W. Cole^{7,8}, Intae Jung¹⁰, Alexa M. Morales¹⁸, Guang Yang^{19,20}, Haowen Zhang¹⁵, Adi Zitrin²¹, Ricardo O. Amorín^{22,23}, Denis Burgarella²⁴, Caitlin M. Casey^{25,26}, Óscar A. Chávez Ortiz⁶, Isabella G. Cox⁹, Katherine Chworowsky^{6,40}, Adriano Fontana²⁷, Eric Gawiser²⁸, Andrea Grazian²⁹, Norman A. Grogan¹⁰, Santosh Harish⁹, Nimish P. Hathi³⁰, Michaela Hirschmann³¹, Benne W. Holwerda³², Stéphanie Juneau³³, Gene C. K. Leung³⁴, Ray A. Lucas¹⁰, Elizabeth J. McGrath², Pablo G. Pérez-González³⁵, Jane R. Rigby³, Lise-Marie Seillé²⁴, Raymond C. Simons⁴, Alexander de la Vega³⁶, Benjamin J. Weiner³⁷, Stephen M. Wilkins^{38,39}, and L. Y. Aaron Yung^{3,41}

and The CEERS Team



CEERS 1019



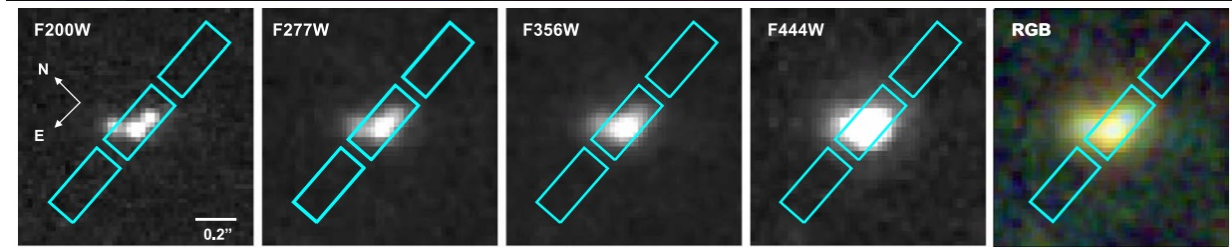
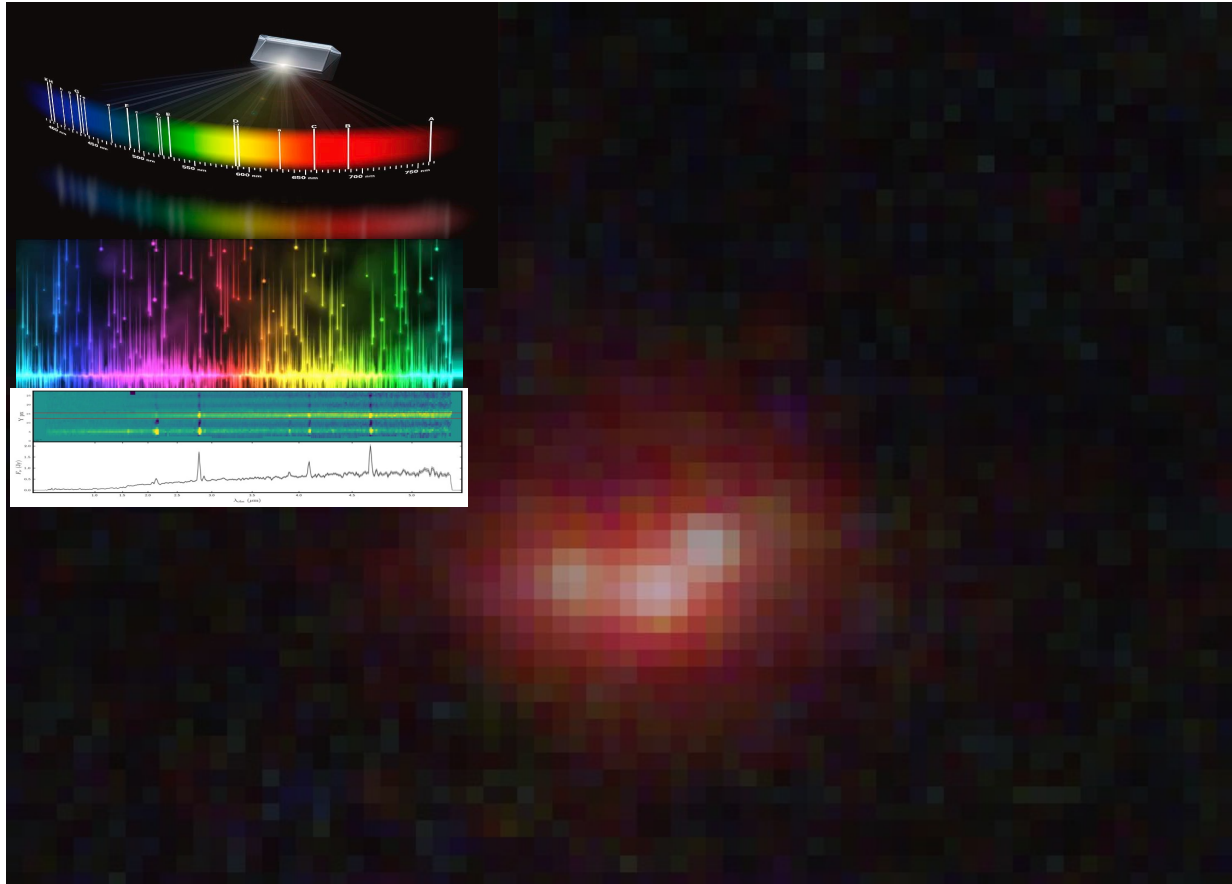
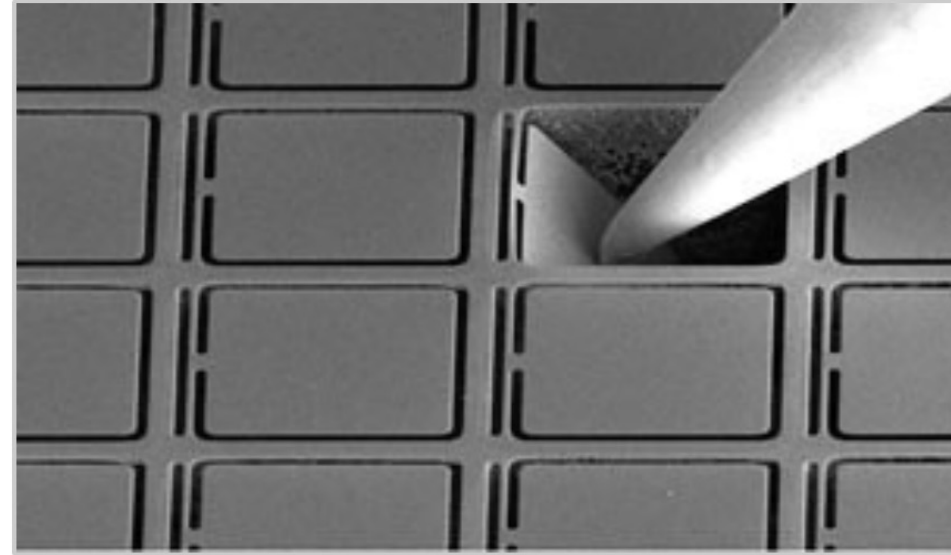
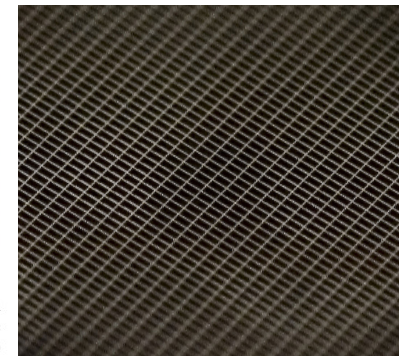


Figure 8. JWST NIRCams $1.5'' \times 1.5''$ cutouts of CEERS_1019 in four different filters (F200W, F277W, F356W, and F444W) and an RGB color composite (with blue = F115W + F150W + F200W, green = F277W + F356W + F410M, and red = F444W) with each filter at its native resolution, highlighting the substructure visible at shorter wavelengths. The positions of the NIRSpect MOS shutters are overlaid. This source has a bright central component centered in the shutter and two extended components as discussed in Section 5.2.

MICROSHUTTERS



Il y a environ 250 000 micro-obturbateurs dans chaque NIRSpect. Ce sont de très petites fenêtres qui s'ouvrent et se ferment magnétiquement de manière individuelle. Chacun de ces obturbateurs mesure 100 microns x 200 microns.



COSMIC EVOLUTION EARLY RELEASE SCIENCE (CEERS) SURVEY

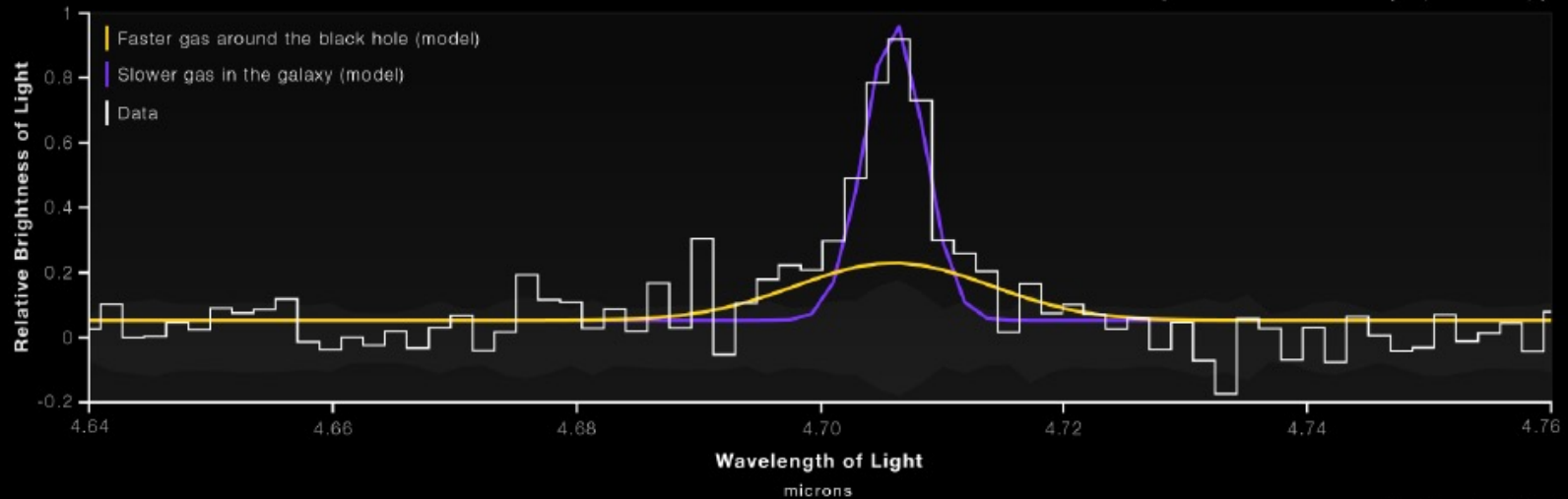
BLACK HOLE EXISTED 570 MILLION YEARS AFTER BIG BANG

Les chercheurs de l'équipe CEERS ont découvert le trou noir supermassif actif le plus éloigné à ce jour grâce au télescope spatial James Webb. La galaxie CEERS 1019 existait un peu plus de 570 millions d'années après le big bang, et son trou noir est moins massif que tout autre trou noir encore identifié dans l'univers primitif.

NIRCam Imaging

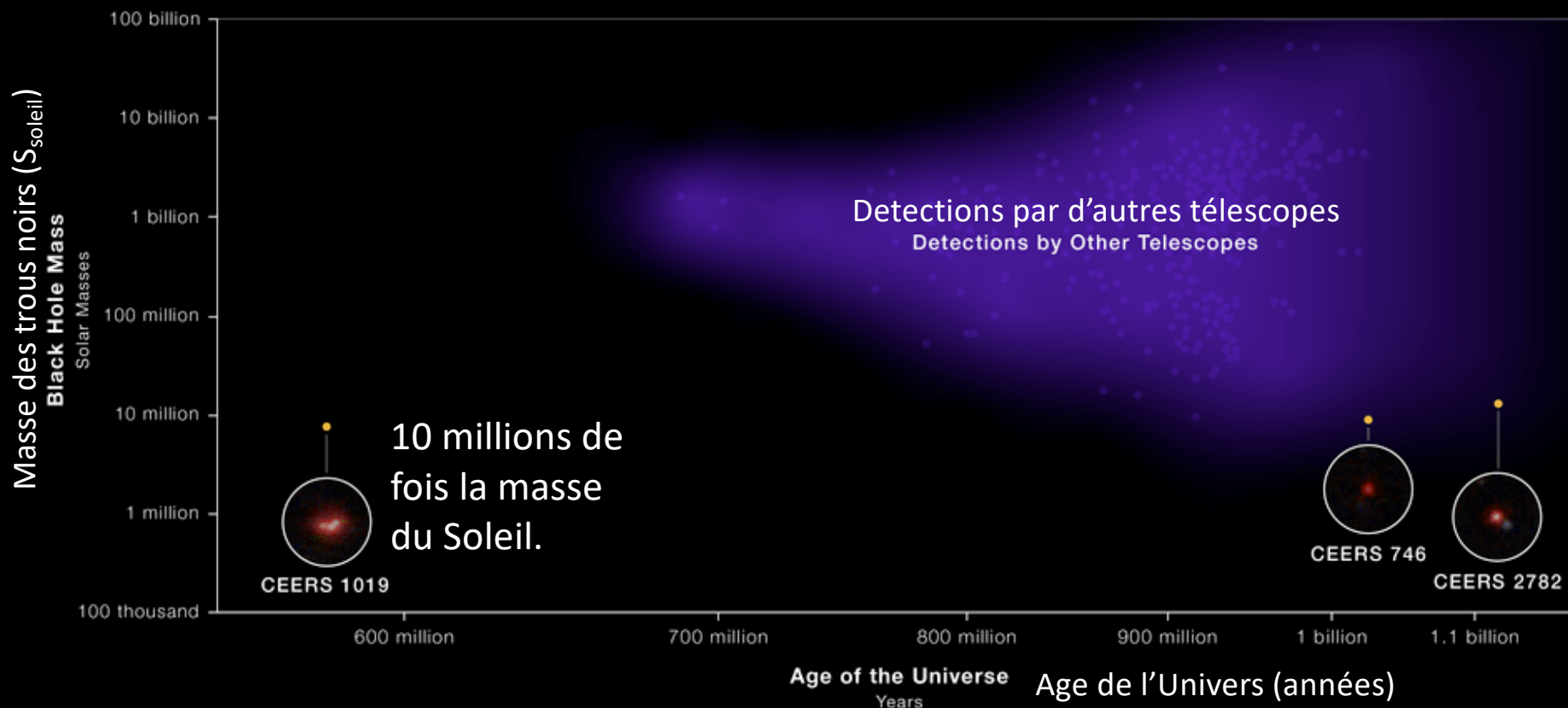


NIRSpec Microshutter Array Spectroscopy

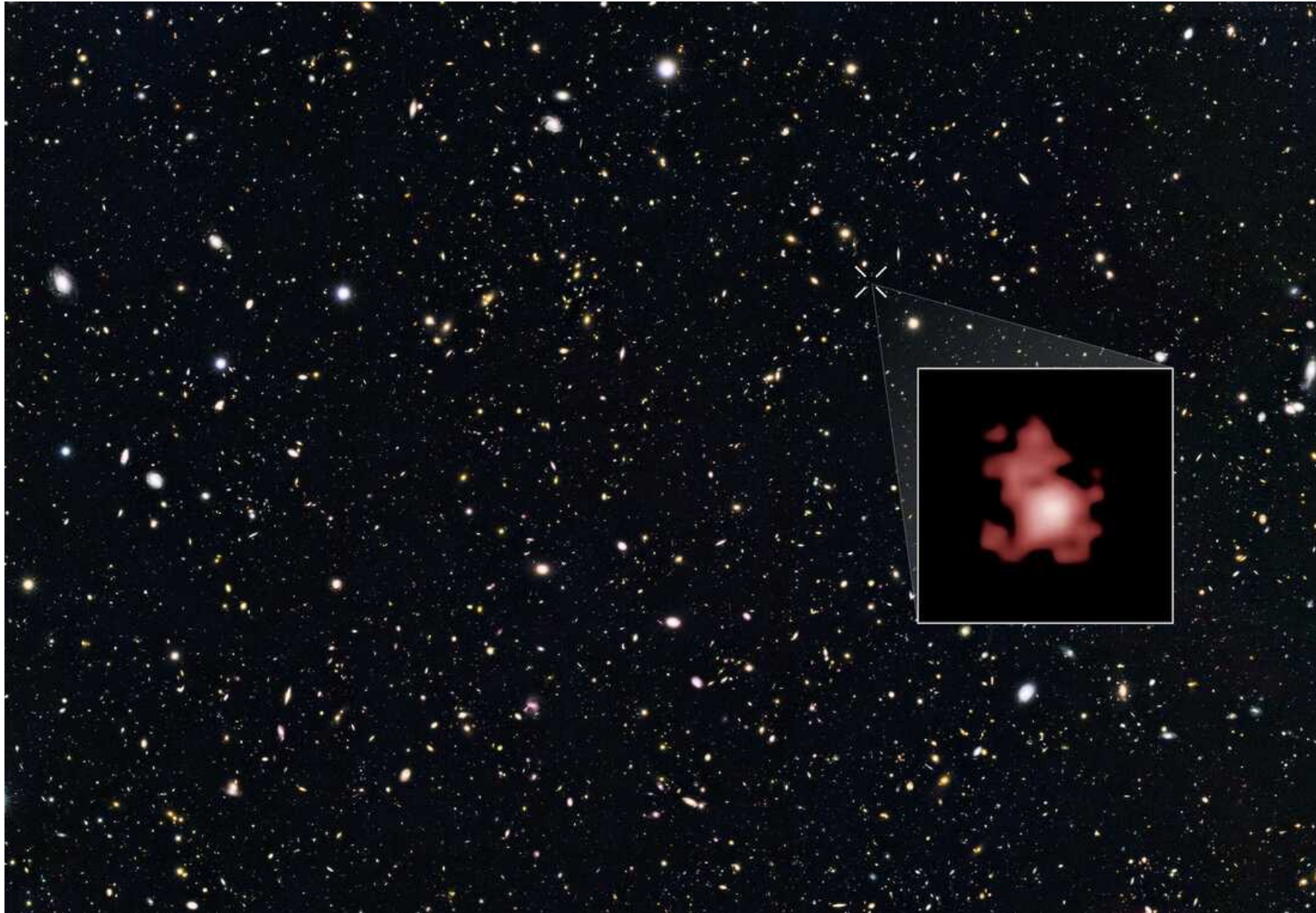


COSMIC EVOLUTION EARLY RELEASE SCIENCE (CEERS) SURVEY

ACTIVE SUPERMASSIVE BLACK HOLES ACROSS COSMIC TIME



WEBB
SPACE TELESCOPE



Lorsque le HST découvre la galaxie GN-z11 en 2016, c'était la galaxie la plus distante jamais identifiée., à peine 400 millions d'années après le Big Bang. Cette galaxie apparaît comme très lumineuse à cette distance.

Une hypothèse intéressante : un trou noir...

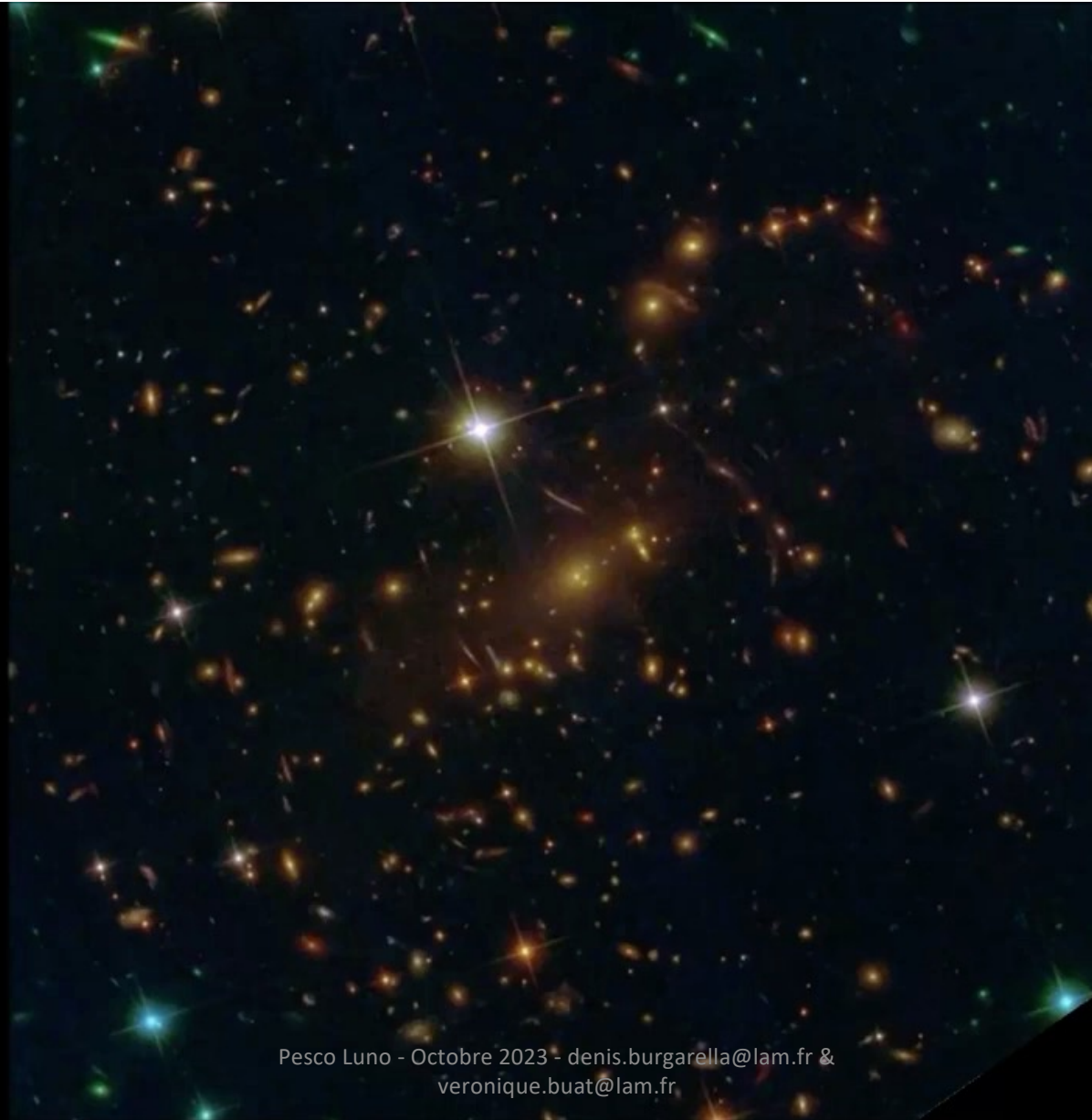
Ce trou noir “mange” essentiellement l'équivalent d'un Soleil entier tous les cinq ans, ce qui est extrêmement élevé. Mais, si le trou noir est peu massif (1,6 million de fois la masse du Soleil), il était en place seulement 400 millions d'années après l'aube de l'univers.

Normalement, il n'est pas possible de développer un trou noir aussi massif si rapidement et si tôt dans l'univers. Selon les théories classiques, il n'y a pas assez de temps. Il faut donc invoquer des scénarios alternatifs :

1. plutôt que de commencer par de petits trous noirs, dans l'univers primitif, ils seraient nés déjà grands en raison de l'effondrement de vastes nuages de gaz primordial.
2. peut-être les premières étoiles se sont effondrées pour former une mer de trous noirs plus petits, qui auraient ensuite pu fusionner ou avaler de la matière bien plus rapidement que nous le pensions, provoquant une croissance rapide du trou noir résultant.
3. = 1+2 : ou peut-être est-ce une combinaison des deux.



- L'amas de galaxies SMACS-0723 contient environ 1000 galaxies.
- Cette image a la taille d'un grain de sable tenu à bout de bras.
- 12.5 heures de pause avec JWST



C'est la toute première image montrée par la NASA.

Certaines galaxies se sont formées peu après le Big Bang, il y a environ 13 milliards d'années.

Crédit : NASA, ESA, ASC et STScI



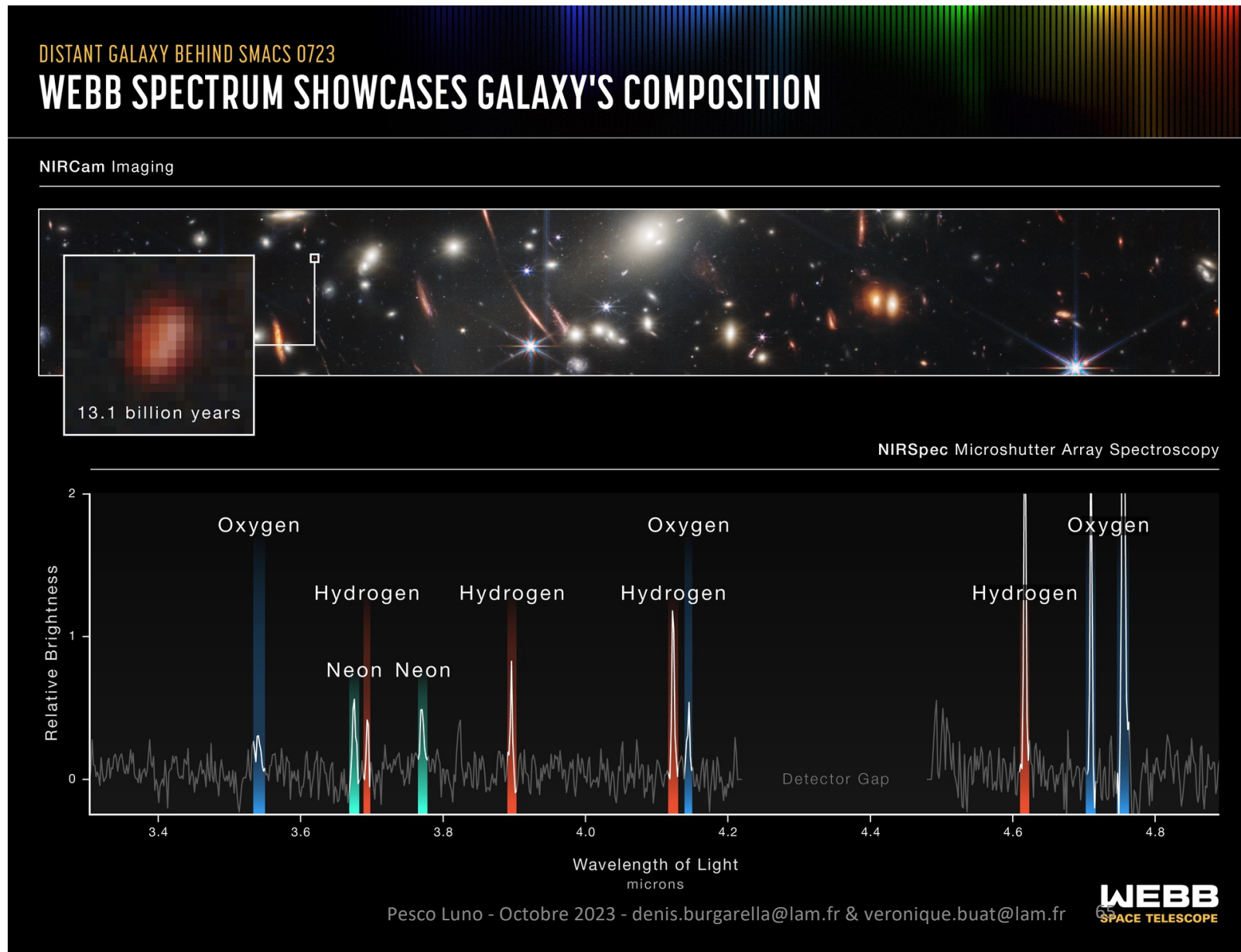
C'est la toute première image montrée par la NASA.

Certaines galaxies se sont formées peu après le Big Bang, il y a environ 13 milliards d'années.

Crédit : NASA, ESA, ASC et STScI



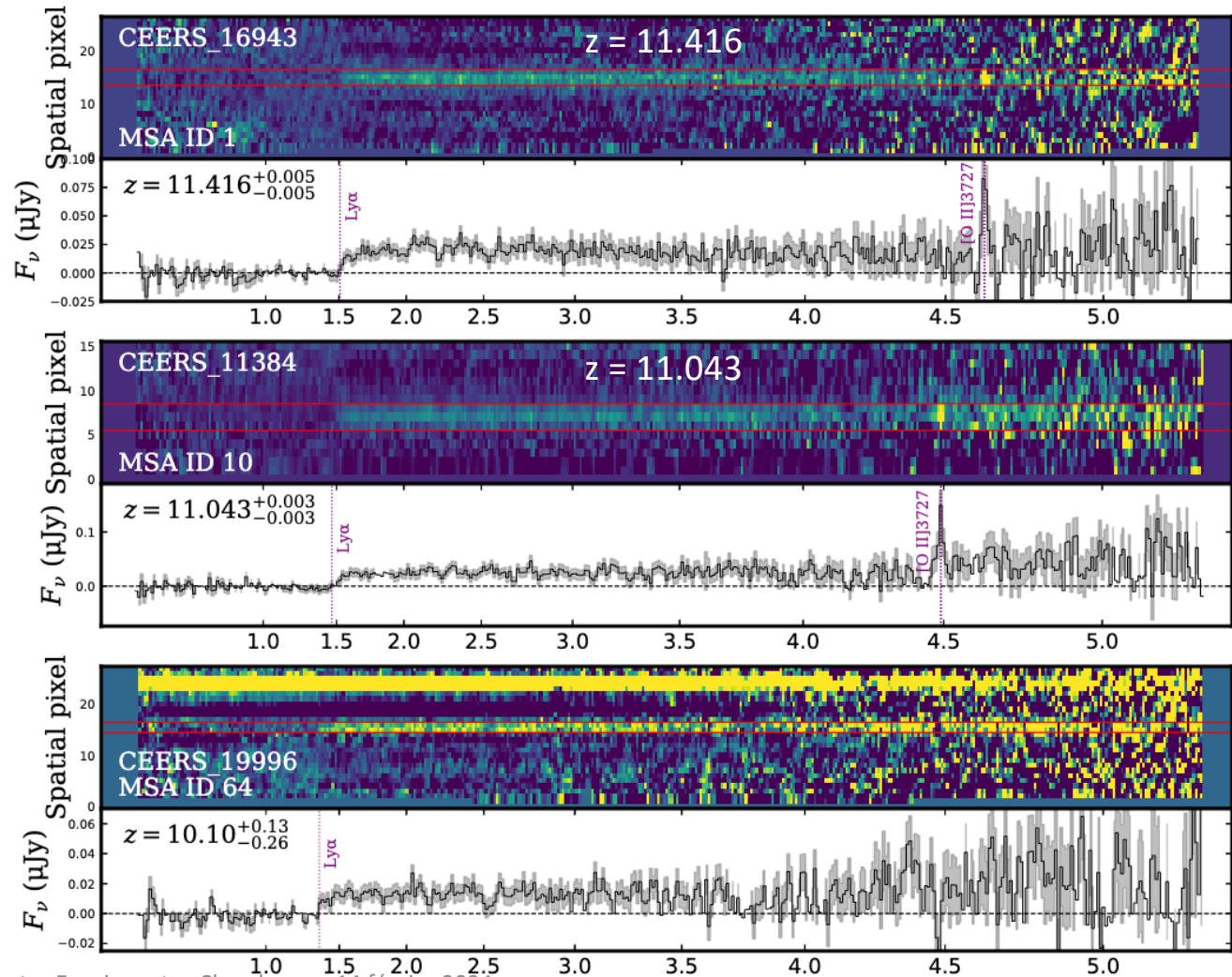
- Lorsque la lumière d'une galaxie individuelle est étirée dans un spectre, nous pouvons en apprendre davantage sur la composition chimique, la température et la densité du gaz ionisé de la galaxie
- Par exemple, le spectre de cette galaxie révèle les propriétés de son gaz, ce qui indique comment ses étoiles se forment et combien de poussière il contient.
- Crédit : NASA, ESA, ASC et STScI



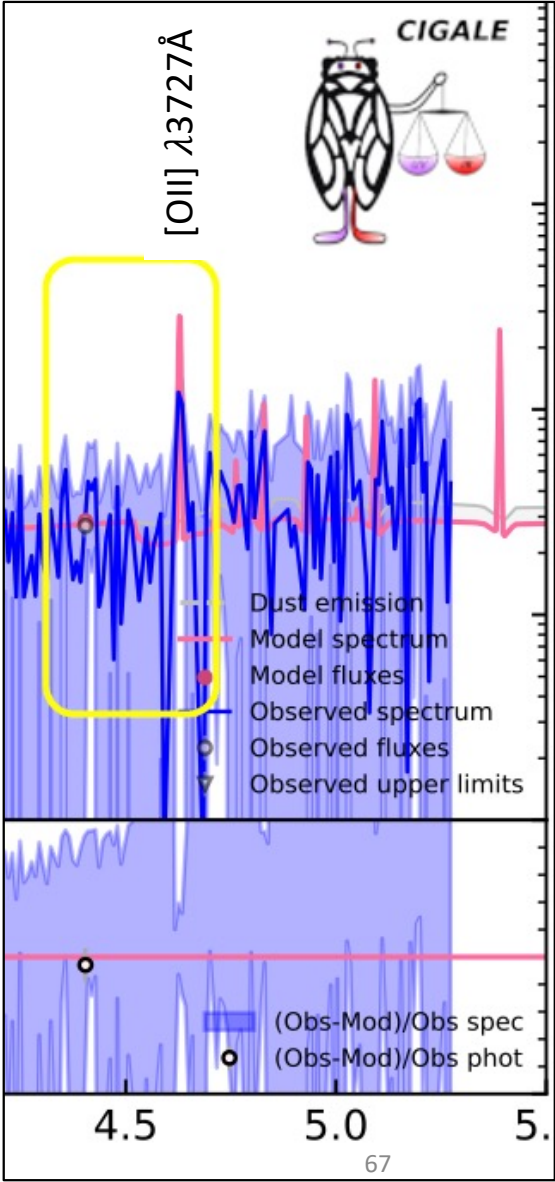
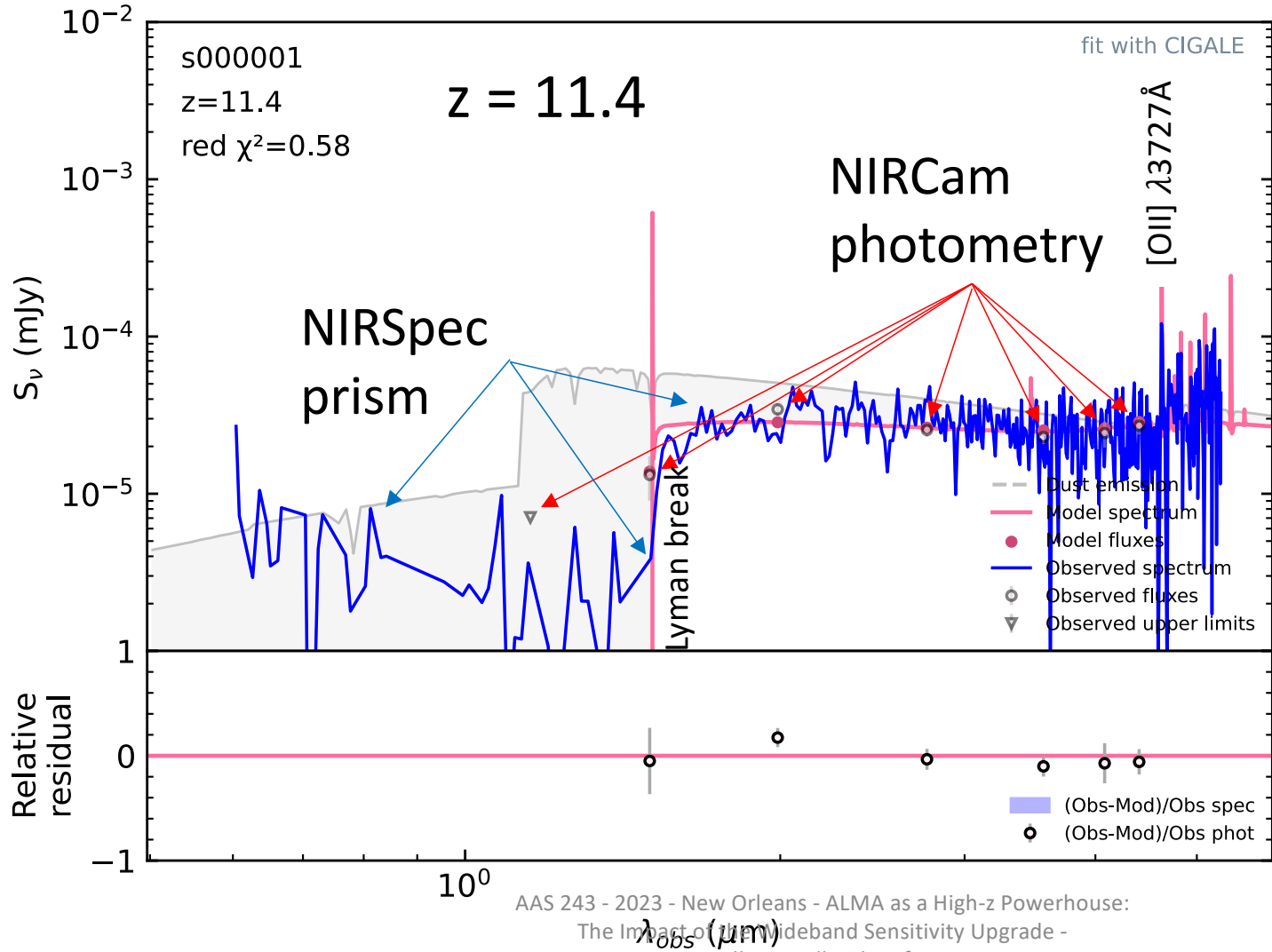
Confirmation and refutation of ultra distant galaxy candidates in the early universe

Pablo Arrabal Haro^{1*}, Mark Dickinson¹, Steven L. Finkelstein², Jeyhan S. Kartaltepe³, Callum T. Donnan⁴, Denis Burgarella⁹, Adam C. Carnall⁴, Fergus Cullen⁴, James S. Dunlop⁴, Vital Fernández⁶, Seiji Fujimoto^{2,7,8}, Intae Jung⁹, Melanie Krips¹⁰, Rebecca L. Larson^{2,11}, Casey Papovich^{12,13}, Pablo G. Pérez-González¹⁴, Ricardo O. Amorín^{6,15}, Micaela B. Bagley², Véronique Buat⁹, Caitlin M. Casey², Katherine Chworowsky^{2,11}, Seth H. Cohen¹⁶, Henry C. Ferguson⁹, Mauro Giavalisco¹⁷, Marc Huertas-Company^{18,19,20}, Taylor A. Hutchison^{21,22}, Dale D. Kocevski²³, Anton M. Koekemoer⁹, Ray A. Lucas⁹, Derek J. McLeod⁴, Ross J. McLure⁴, Norbert Pirzkal⁹, Jonathan R. Trump²⁴, Benjamin J. Weiner²⁵, Stephen M. Wilkins^{26,27} and Jorge A. Zavala²⁸

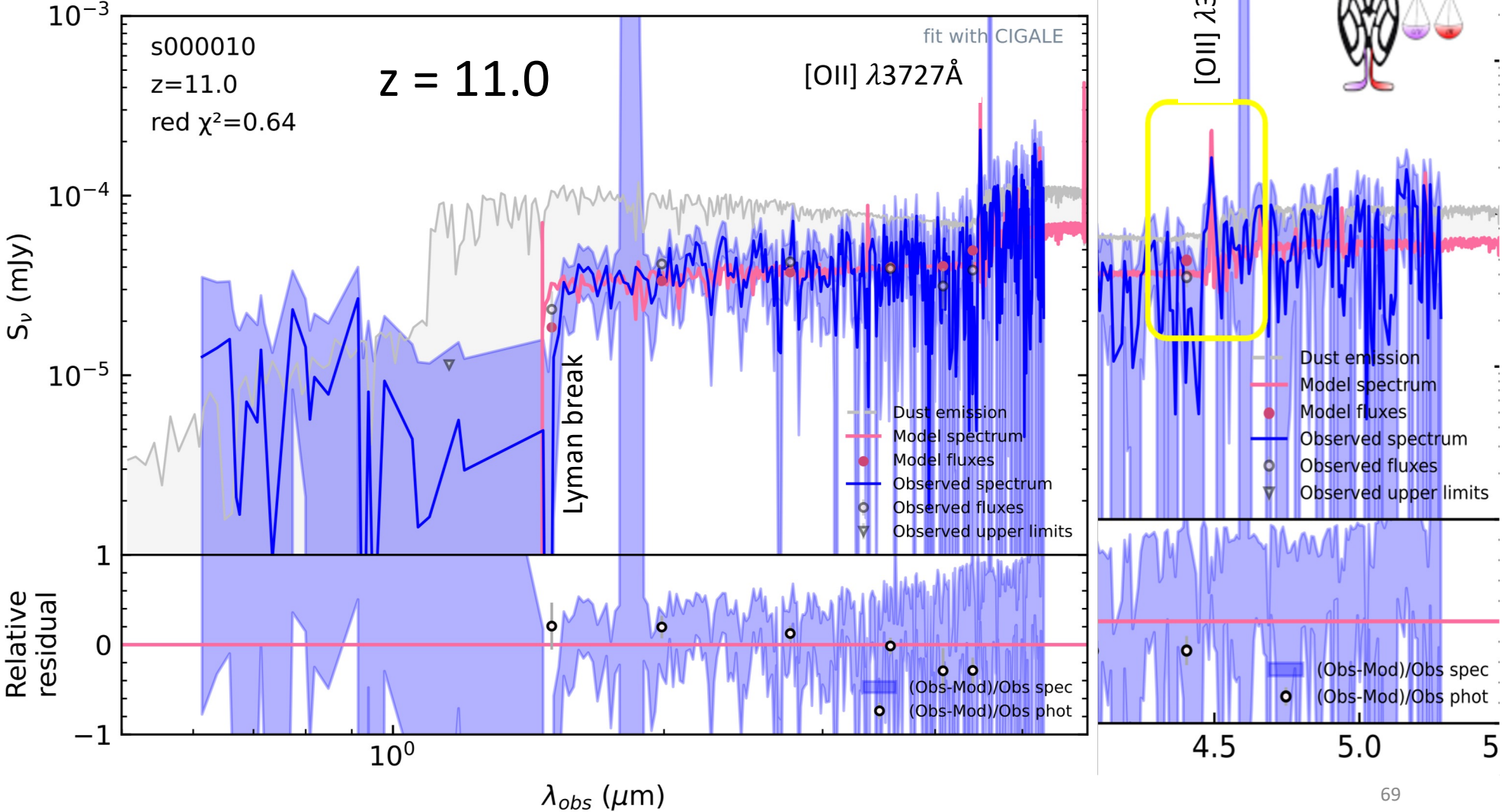
LES GALAXIES LES PLUS DISTANTES CONFIRMÉES PAR LE JWST



Maisie's galaxy (NIRCam F277W = 27.9 Abmag)

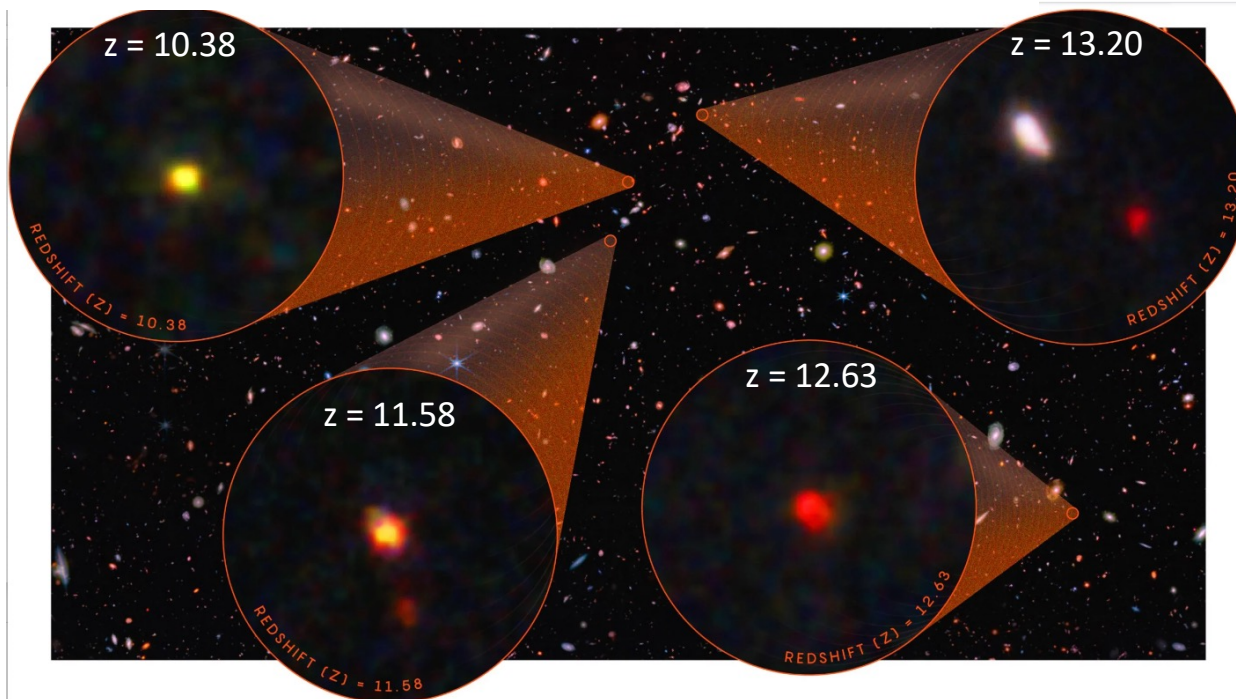


MSA-ID-10



Identification and properties of intense star-forming galaxies at redshifts $z > 10$

*1Robertson, B. E., *2,3Tacchella, S., 4Johnson, B. D., 5Hainline, K., 5Whitler, L., 4Eisenstein D. J., 6Endsley, R., 5Rieke, M., 5Stark, D. P., 5Alberts, S., 7Dressler, A., 5Egami, E., 8Hausen, R., 5Rieke, G., 5Shivaei, I., 9Williams, C. C., 5Willmer, C. N. A., 10Arribas, S., 11,12Bonaventura, N., 13Bunker, A., 13Cameron, A. J., 14Carniani, S., 15Charlot, S., 13Chevallard, J., 2,3Curti, M., 16Curtis-Lake, E., 2,3D'Eugenio, F., 11,12Jakobsen, P., 2,3Looser, T. J., 17Lützgendorf, N., 2,3,18Maiolino, R., 19Maseda, M. V., 17Rawle, T., 20Rix, H.-W., 21Smit, R., 2,3Übler, H., 22Willott, C., 2,3Witstok, J., 23Baum, S., 24Bhatawdekar, R., 25,26Boyett, K., 5Chen, Z., 20de Graaff, A., 5Florian, M., 5Helton, J. M., 5Hviding, R. E., 5Ji, Z., 27Kumari, N., 5Lyu, J., 28Nelson, E., 2,3Sandles, L., 13,18Saxena, A., 1,29Suess, K. A., 5Sun, F., 5Topping, M. & 13Wallace, I. E. B.



The Webb telescope has spotted galaxies surprisingly far away in space and deep in the past. These four, studied by a team called JADES, are all seen as they appeared less than 500 million years after the Big Bang.

Samuel Velasco/Quanta Magazine, source: NASA

LES GALAXIES LES PLUS DISTANTES CONFIRMÉES PAR LE JWST

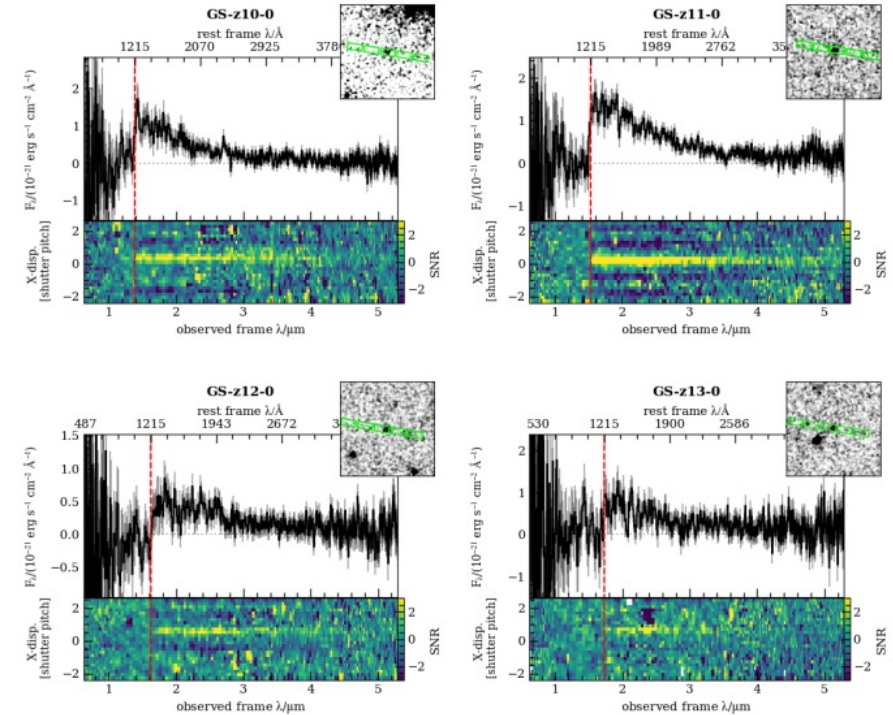


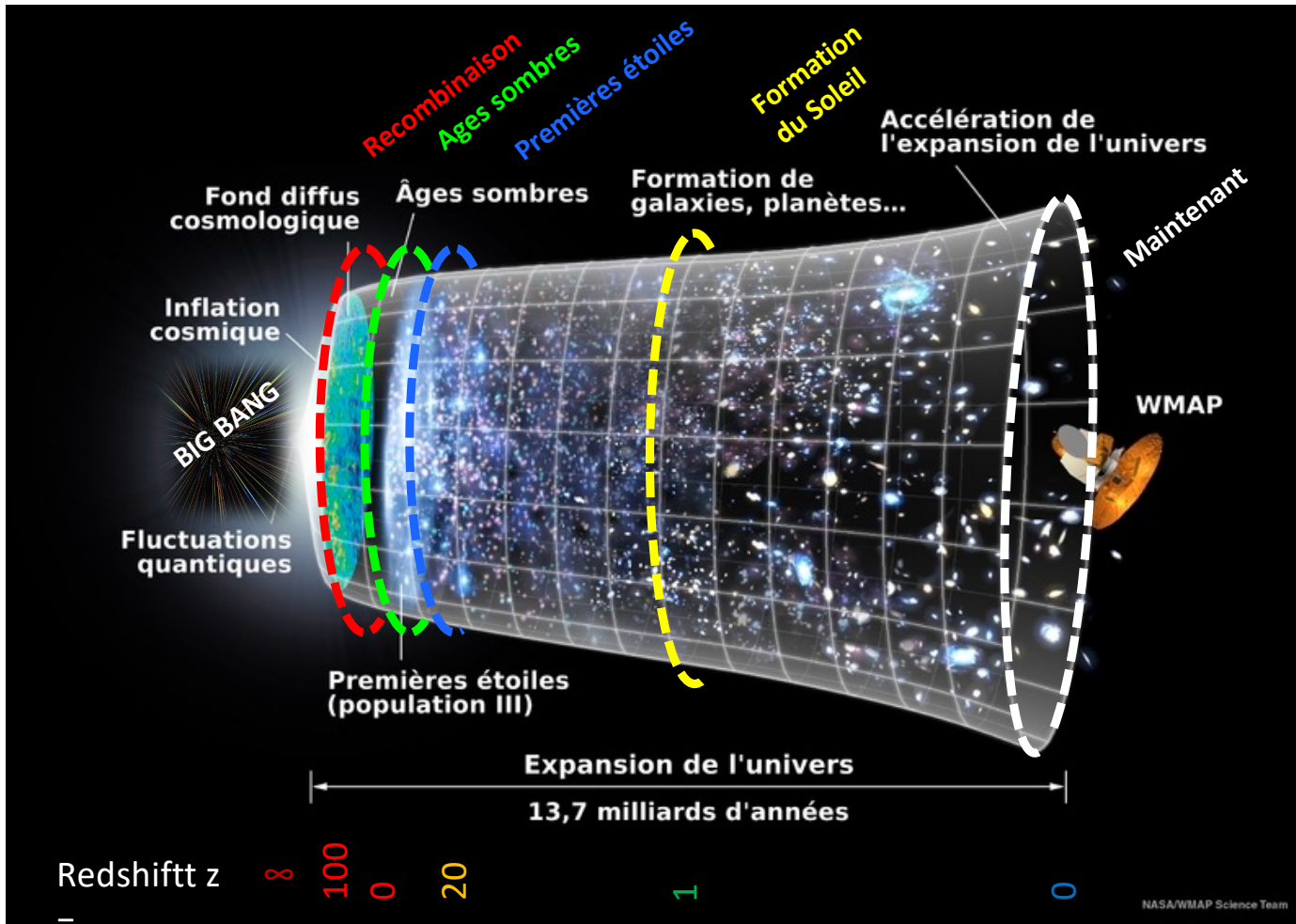
Fig. 1 NIRSpect prism $R \sim 100$ spectra for the four $z > 10$ galaxies targeted for the first deep spectroscopic pointing of the JADES survey, JADES-GS-z10-0, JADES-GS-z11-0, JADES-GS-z12-0 and JADES-GS-z13-0. For each galaxy we display the 1D spectrum and associated uncertainties. In the bottom panel we show the 2D signal-to-noise ratio plot. The 2D plot is binned over four pixels in the wavelength direction to better show the contrast across the break. The inset panel in the top right-hand corner shows the NIRC4 F444W filter image with the three nodding positions of the the NIRSpect micro-shutter 3-slitlet array shown in green. The red dashed line shows 1215.67Å at the observed redshift z_{1216} .

Plan

- Qu'est-ce qu'une galaxie ?
- La « *préhistoire* » de l'astrophysique extragalactique (jusqu'au XX^{ème} siècle)
- Le grand débat (1920 – 1924)
- La révolution du XX^{ème} siècle
 - La fourchette de Hubble
 - La matière sombre
 - L'évolution de la morphologie des galaxies avec les âges cosmiques
 - La formation et l'évolution des galaxies avec les âges cosmiques
 - Les résultats les plus récents du JWST sur les galaxies dans l'Univers jeune
- Les résultats les plus récents du JWST sur les galaxies dans l'Univers jeune
- **Les premières étoiles et galaxies apparues dans l'Univers**
- Fin



Un court résumé de l'histoire de l'univers

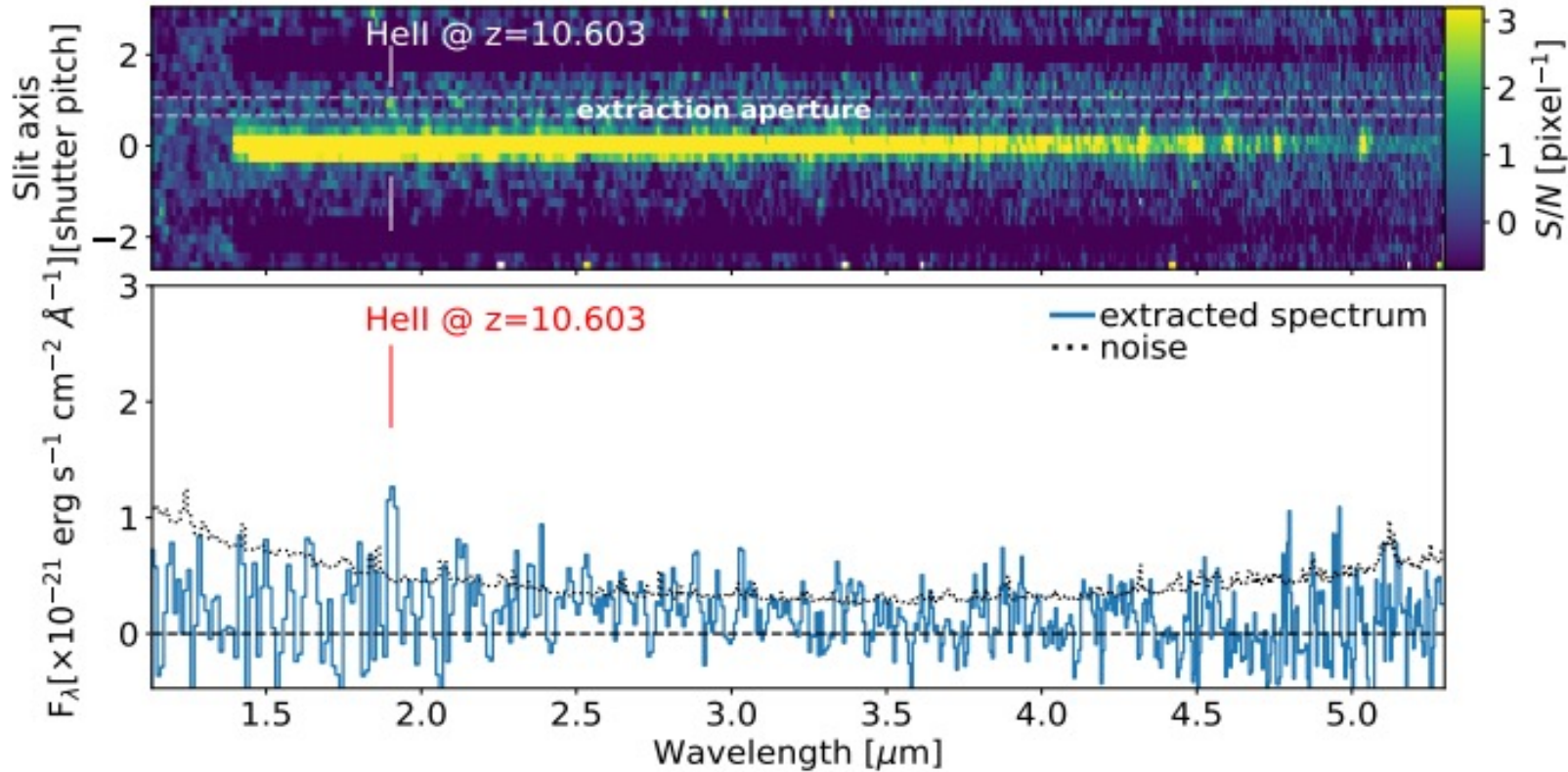


Redshift (z)	Âge de l'Univers
0 = Maintenant	13 720 millions années
10.043	475 millions années
10.38	454 millions années
10.416	452 millions années
11.1	414 millions années
11.58	390 millions années
12.63	346 millions années
13.20	325 millions années
∞ = Big Bang	0 années/jours/secondes...

- Mais nous n'avons toujours pas les premières étoiles

3. Identification d'une galaxie candidate "population III"

Maiolino et al.: PopIII signatures at z=10.6



Toutefois, cette interprétation n'est pas encore confirmée.

D'autres candidates similaires existent.

Maiolino et al. (2023arXiv230600953M)

Plan

- Qu'est-ce qu'une galaxie ?
- La « *préhistoire* » de l'astrophysique extragalactique (jusqu'au XX^{ème} siècle)
- Le grand débat (1920 – 1924)
- La révolution du XX^{ème} siècle
 - La fourchette de Hubble
 - La matière sombre
 - L'évolution de la morphologie des galaxies avec les âges cosmiques
 - La formation et l'évolution des galaxies avec les âges cosmiques
 - Les résultats les plus récents du JWST sur les galaxies dans l'Univers jeune
- Les résultats les plus récents du JWST sur les galaxies dans l'Univers jeune
- Les premières étoiles et galaxies apparues dans l'Univers
- **Fin**



Merci pour votre attention.

