

## DECOUVERTS RECENTS PAR JWST & ALMA SUR LES TROUS NOIRS ET GALAXIES MASSIVES DANS L'UNIVERS PRIMITIF



Le **télescope spatial James Webb (JWST)** fonctionnant principalement dans l'infrarouge, est conçu pour poursuivre les travaux du télescope spatial Hubble. La taille de son miroir primaire est de 6,5 m de diamètre contre 2,4 m pour Hubble, et son pouvoir de résolution atteint 0,1 seconde d'arc. Le JWST a été lancé depuis le Centre Spatial de Kourou le 25 décembre 2021 par une fusée Ariane 5 ECA et se trouve à 1.5 millions de km de la Terre.

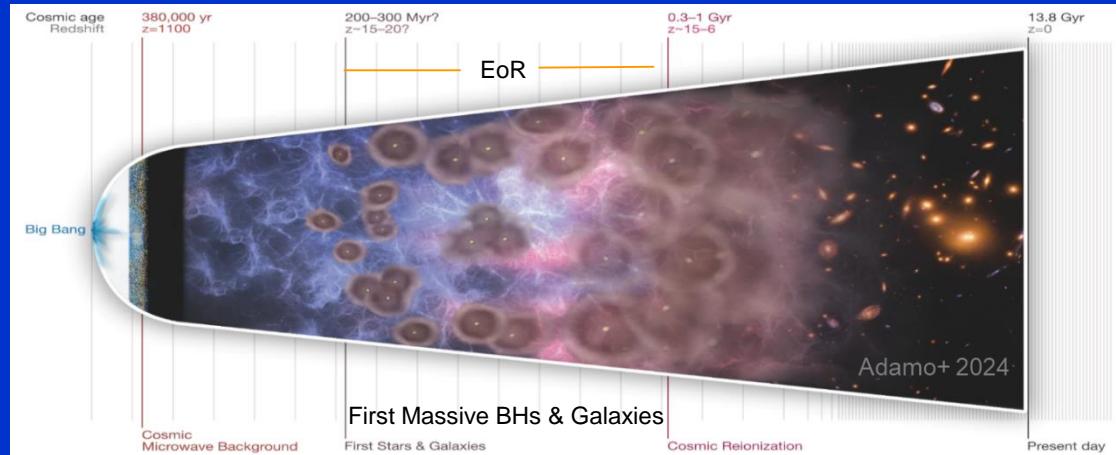


Le radiotélescope ALMA est un interféromètre constitué de 66 antennes (54 de 12 m de diamètre et 12 de 7 m de diamètre) dont l'espacement est compris entre 16 km et 160 m. Il est installée sur le haut plateau de Chajnantor dans le désert d'Atacama au Chili à 5 100 m d'altitude, pour l'observation des ondes millimétriques et submillimétriques des nuages moléculaires dans lesquels naissent les étoiles.

# TROUS NOIRS ET GALAXIES MASSIVES DANS L'UNIVERS PRIMITIF

Félix Mirabel<sup>1,2</sup>

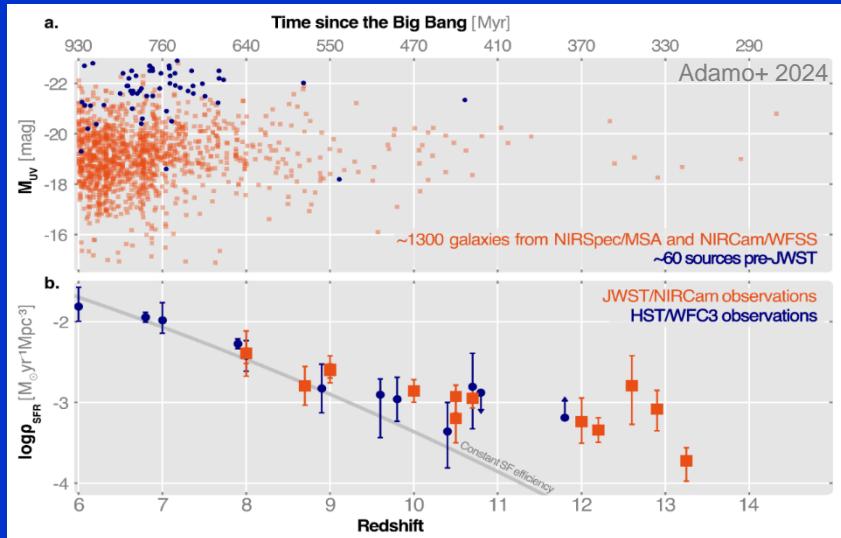
<sup>1</sup>CEA-Univ. Paris-Saclay-France & <sup>2</sup>IAFE-Univ. Buenos Aires-Argentina



Les premières observations par JWST de galaxies brillantes dans l'Univers Primitif suggèrent que les taux de formation, d'assemblage et d'éteindre des galaxies à  $z > 10$  sont plus élevés que prévu par le  $\Lambda$ CDM, et ont produit une grande surprise!

# Le premier milliard d'années, selon JWST

Suite à un atelier à Berne sur les percées de JWST (Mai 2024)



~1300 galaxies massives à  $z > 6$ , 20 confirmées à  $z > 10$ , par spectroscopie, inclue une galaxie à  $z = 14.32$  (Carniani+ 2024)

- a. Les points bleus sont des magnitudes absolues et des décalages vers le rouge de galaxies confirmées par spectroscopie depuis la période antérieure à celle JWST. Les carrés orange sont des candidats à partir de données publiques du JWST.

Une diminution plus lente de la fonction de luminosité UV à  $z > 8$  que prévu. Cela impliquerait une production précoce plus soutenue de photons UV, en raison d'un nombre trop élevé de galaxies lumineuses.

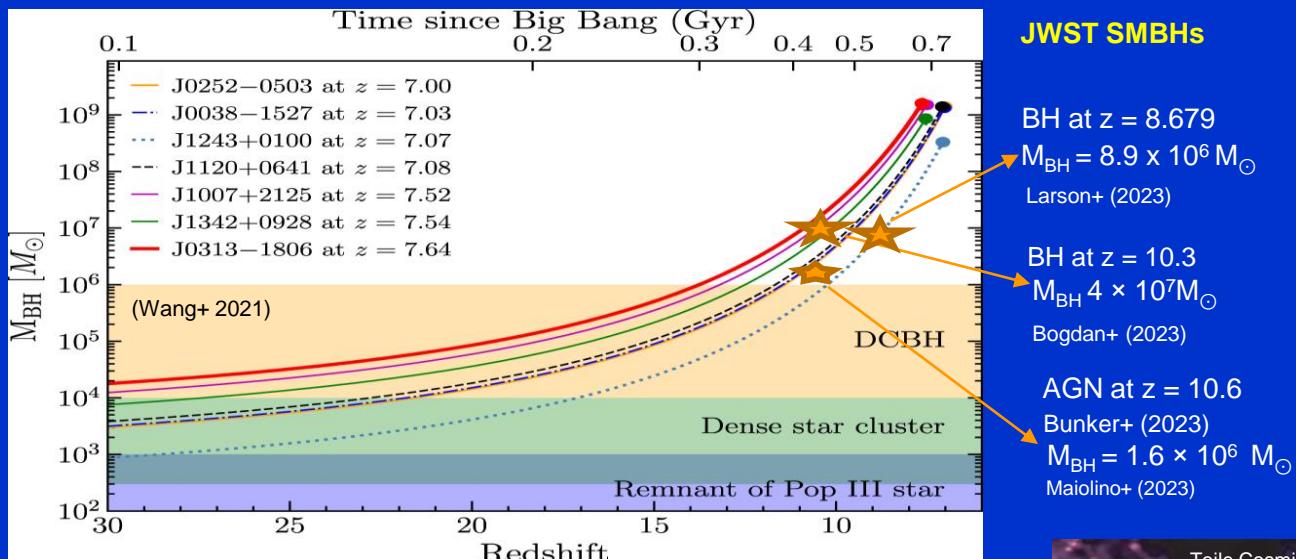
- b. Densité cosmique de SFR dans les premiers milliards d'années comme vu des échantillons de HST/WFC3 (cercles foncés) comparés à JWST/NIRCam (carrés oranges).

Pour expliquer l'aplatissement de la LF en UV, plusieurs scénarios baryoniques ont été proposés : (a) diminution de l'obscurcissement des poussières au-delà de  $z > 10$ , (b) variabilité de la SF résultant dans une LF aplatie, (c) une IFM trop élevé, (d) biais d'agrandissement de la UV... mais...

Les Trous Noirs (BHs) qui, lorsqu'ils sont situés à l'intérieur de hautes densités de colonnes de gaz froid, déclenchent la Formation d'Etoiles (SF)

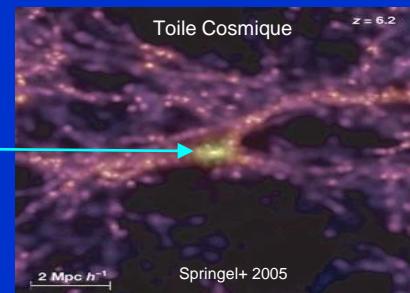
## Avant JWST: SMBH de $\sim 10^9 M_{\odot}$ dans $z > 5$ quasars (Fan+ 2023)

Les SMBH pouvaient atteindre  $\sim 10^9 M_{\odot}$  lorsque l'univers était âgé de moins de 700 Myr

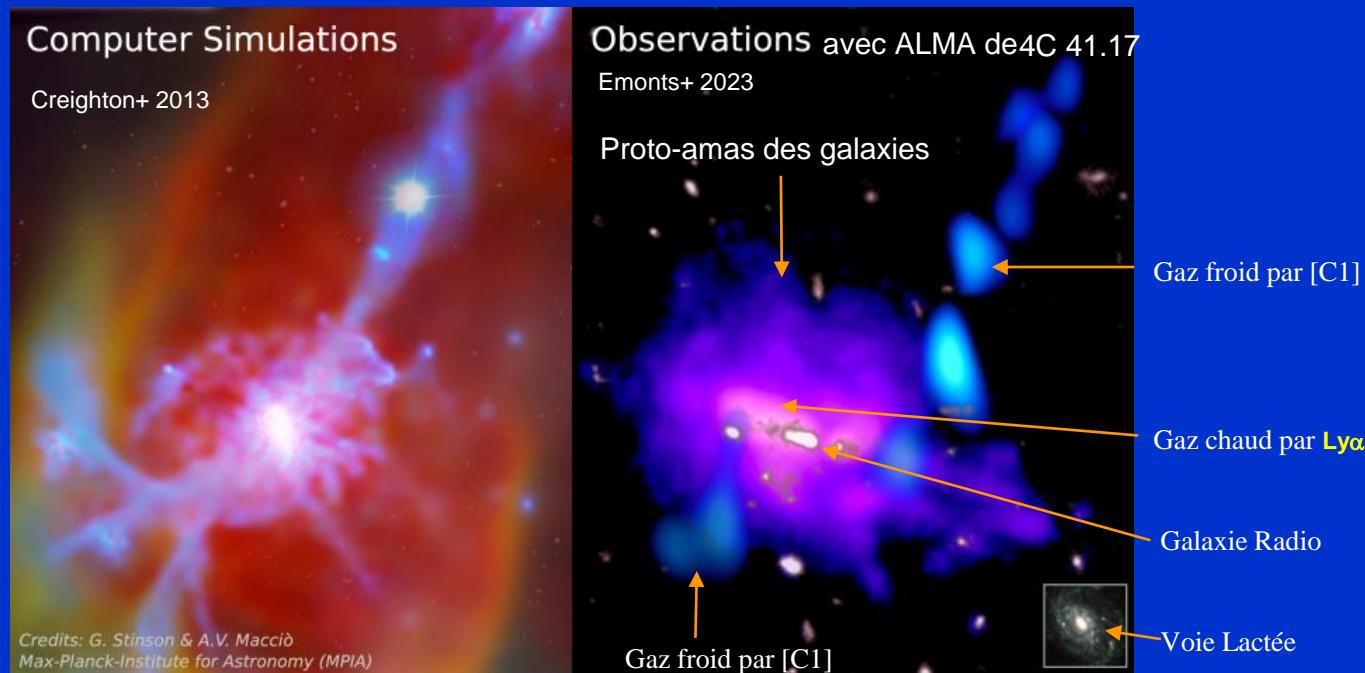


- Les graines des SMBH pourraient être d'origine primordiale (Zeldovich & Novikov 1966), stellaire ou se former à  $z > 25$  par effondrement direct de fluxs convergents de gaz froid dans des halos de DM de  $\sim 4 \times 10^5 M_{\odot}$  des  $\Lambda$ CDM cosmologies (Latif+ 2022)
- Les taux d'accrétion élevés de BHs doivent impliquer densités de gaz élevées à  $z > 6$

Y a-t-il preuves observationnelles de ces flux convergents et de N(H) élevés à hautes décalages z vers le rouge ?



**Fluxes cosmiques de gaz froid convergent dans un halo de matière noire massive qui abrite la puissante radio galaxie 4C 41.17 à z = 3.8, au centre d'un Proto-amas des galaxies**



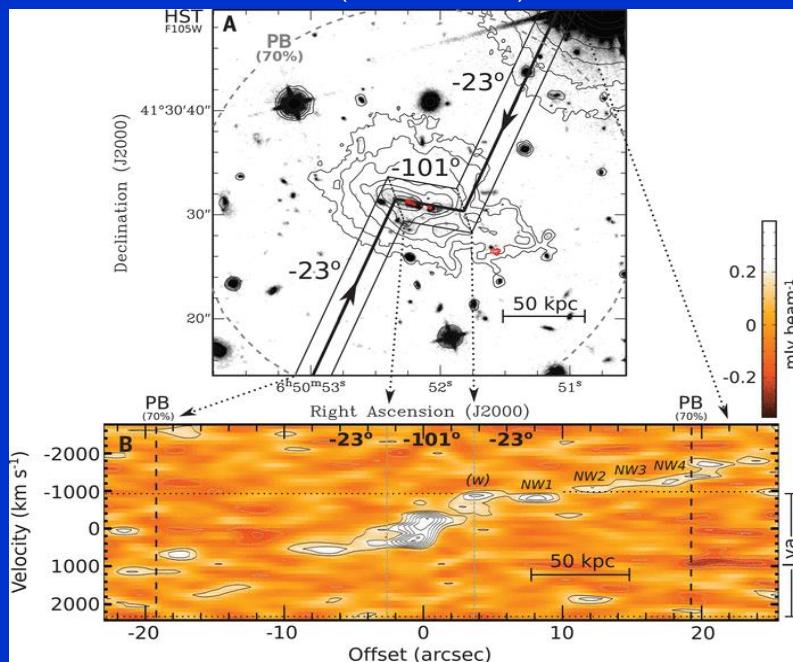
## ALMA observe dans la transition [C I] $\lambda$ 609 $\mu\text{m}$ un flux de gaz froid turbulent vers l'AGN en 4C 41.17 à $z = 3.8$

ALMA observations of [C I] in the rest-frame  $\lambda$ 609  $\mu\text{m}$  (492 GHz). [C I] has an upper energy level of 23.6 K, & a critical density of  $n_{\text{crit}} \sim 500 \text{ cm}^{-3}$  ... **traces H}\_2**

*Stream*  $M_{\text{H}_2} \sim 7 \times 10^{10} M_{\odot}$   
 Central  $M_{\text{H}_2} \sim 1.4 \times 10^{11} M_{\odot}$   
 Macc-rate  $\sim 450 \pm 180 M_{\odot}/\text{yr}$   
**SFR  $\gtrsim 250 M_{\odot}/\text{an}$  in the dernier  $10^9$  ans**

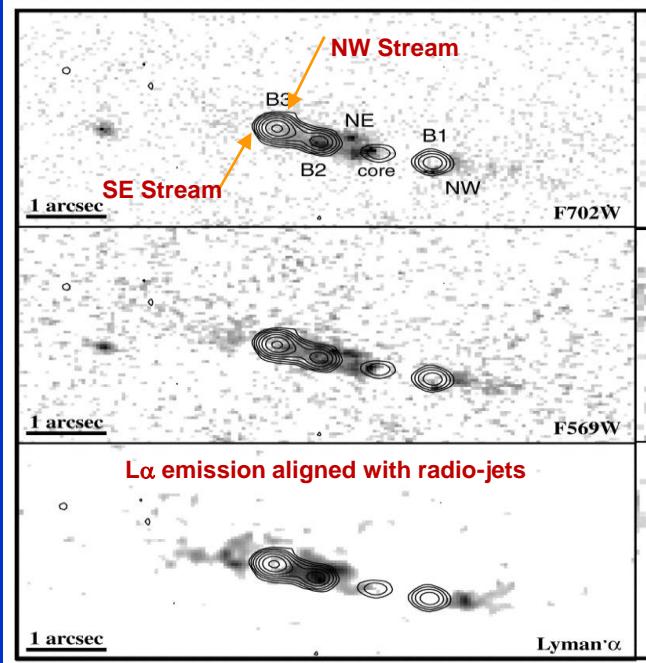
**Les NO & SE fluxes convergent à vitesse relative de  $\sim 1500 \text{ km/s}$**

Emonts+ (Science 2023)

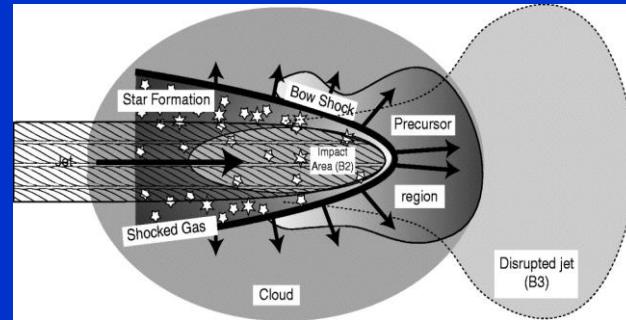


## Le SMBH dans 4C 41.17 accréte gaz à taux élevés et d'éclanche SF le long des jets radio

Bicknel+ 2000

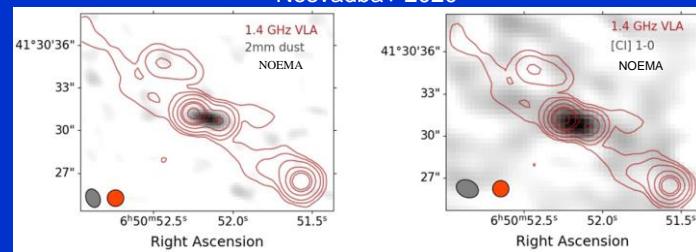


HST images with F702W ( $\lambda_{rest} \sim 1430 \text{ \AA}$ ), F569W & Ly $\alpha$  filters. Contours are 8 - 12 GHz radio images.



Suggested morphology of a jet-cloud interaction

Nesvadba+ 2020

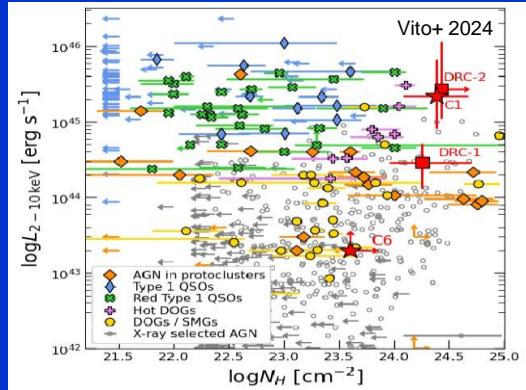


The AGN is surrounded by dust & high N(H)s of cold gas

$$\text{SFR} = 650 \text{ M}_\odot/\text{an}$$

Quelles sont les preuves observationnelles que les SMBH à des z plus élevés sont enveloppés par des N(H) plus élevés?

## Les SMBHs dans proto-amas de galaxies à $z > 6$ grandissent immédiatement dans $N(H)$ élevés

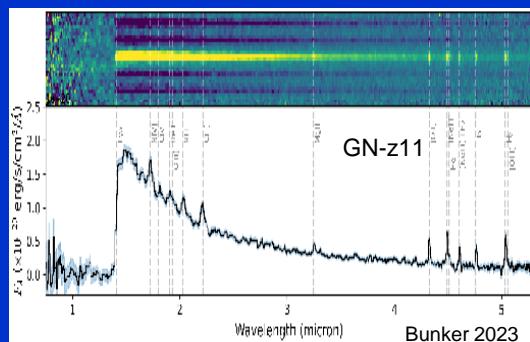


Les preuves observationnelles:

Les AGN de JWST dans les champs GOODS à  $z > 6$  sont plus nombreux que les AGN sélectionnés par rayons X, en raison de l'absorption des rayons X faible par le type de nuages de la BLR de gaz dense sans poussière (Maiolino+ 2024)

et

Dans les spectres X des AGN à  $z > 6$  les bandes de radiation dur sont plus élevées que les bandes de radiation faible, impliquant  $N(H) > 10^{24} \text{ cm}^{-2}$  (Vito+ 2024)



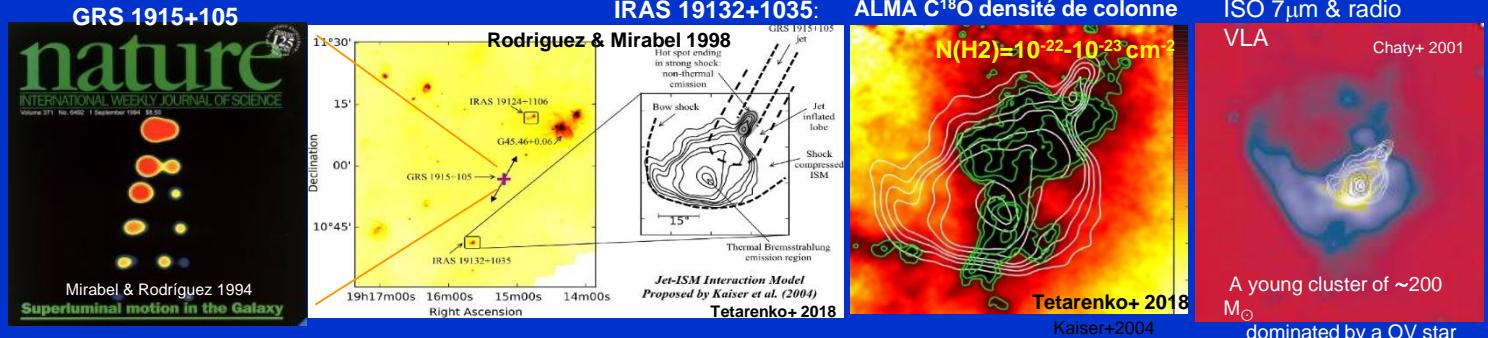
et

L'absorption Ly $\alpha$  dans les galaxies à  $z = 9-13$  suggèrent  $N(HI) > 10^{22} \text{ cm}^{-2}$

Les jets/flux de BHs qui interagissent avec des  $N(H)$  élevés de gaz frais induisent SF (Fragile+ 2017)

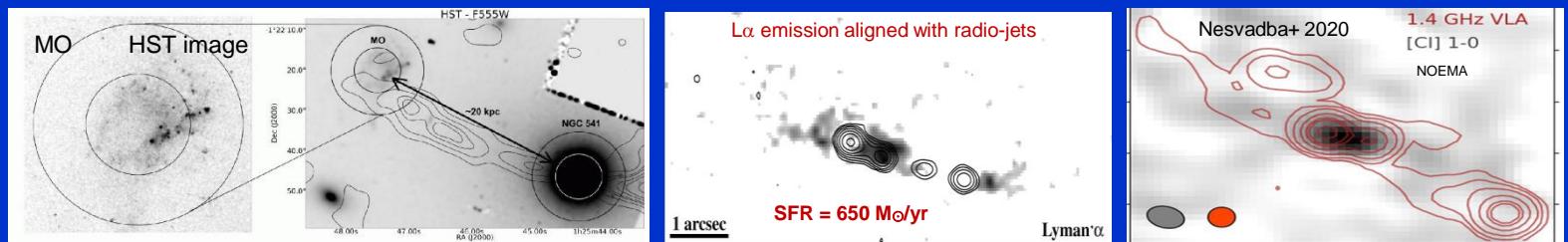
# Rétroaction positif de BH-jets dans l'Univers Local et Lointain

**Dans la Voie Lactée:**  
**Le microquasar**  
 BH-XRB:  
 $M_{\text{BH}} \sim 10 M_{\odot}$  &  $1 M_{\odot}$  RG  
 Récemment :  
 $D = 8.6 \pm 1.6$  kpc  
 Jet =  $0.81 \pm 0.04$ c  
 Reid+ (2014)



**Rétroaction positif**

**Dans L'Univers Local et Lointain**



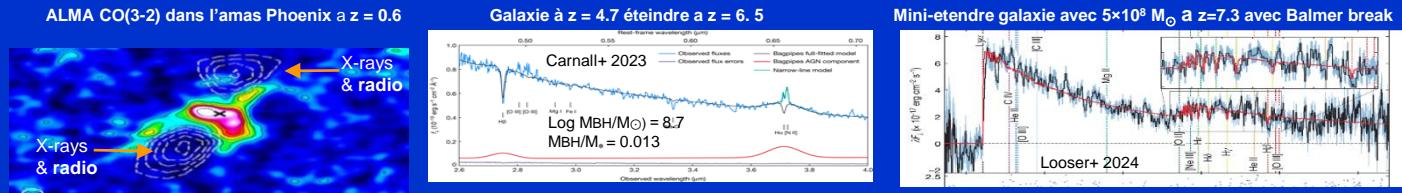
La rétroaction positive est rare dans l'Univers Local mais devrait être commune dans l'Univers Primitif

Cependant, il est difficile de la voir à  $z > 6$  parce qu'elle est dans  $N(\text{H})$  élevés, et à  $z < 6$  dans poussière

# Rétroaction Negative des Trous Noirs dans l'Univers Local et Lointin

## Rétroaction Négative

De l'Univers Local  
jusqu'à les JWST  
galaxies massives  
à  $z > 4$



La rétroaction d'AGN dans l'Univers Primitif régule de façon stochastique l'évolution des galaxies massives

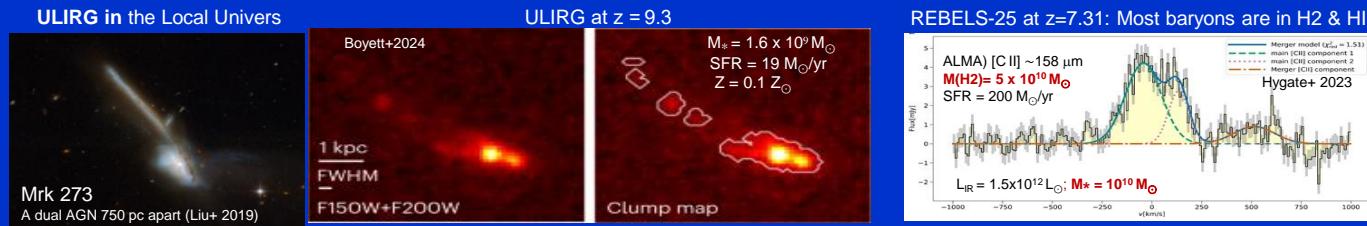
## Les fusions des galaxies riches en gaz créent les conditions pour une rétroaction positive des AGN

Les fusions riches en gaz accroît le N(H) environnemental de BHs, le taux d'accréation de BHs et la puissance des jets

Le diamètre de l'univers évolue comme  $1/(1+z)$ ... et on s'attend à ce que

Les fusions riches en gaz sont fréquentes dans l'Univers Primitif mais rares dans l'Univers Local

ULIRGs dans l'Univers Local (Sanders & Mirabel ARAA 1996) et dans l'Univers Primitif (Boyett+ 2024)



## Conclusion

Si l'on tient compte des mécanismes astrophysiques de la rétroaction des AGN et fusions massives riches en gaz, l'observation par le JWST d'une apparition très précoce, d'une croissance et éteindre trop rapide de galaxies lumineuses dans l'Univers Primitif, n'est pas surprenant.