

JWST

fait d'une pierre 2 coups

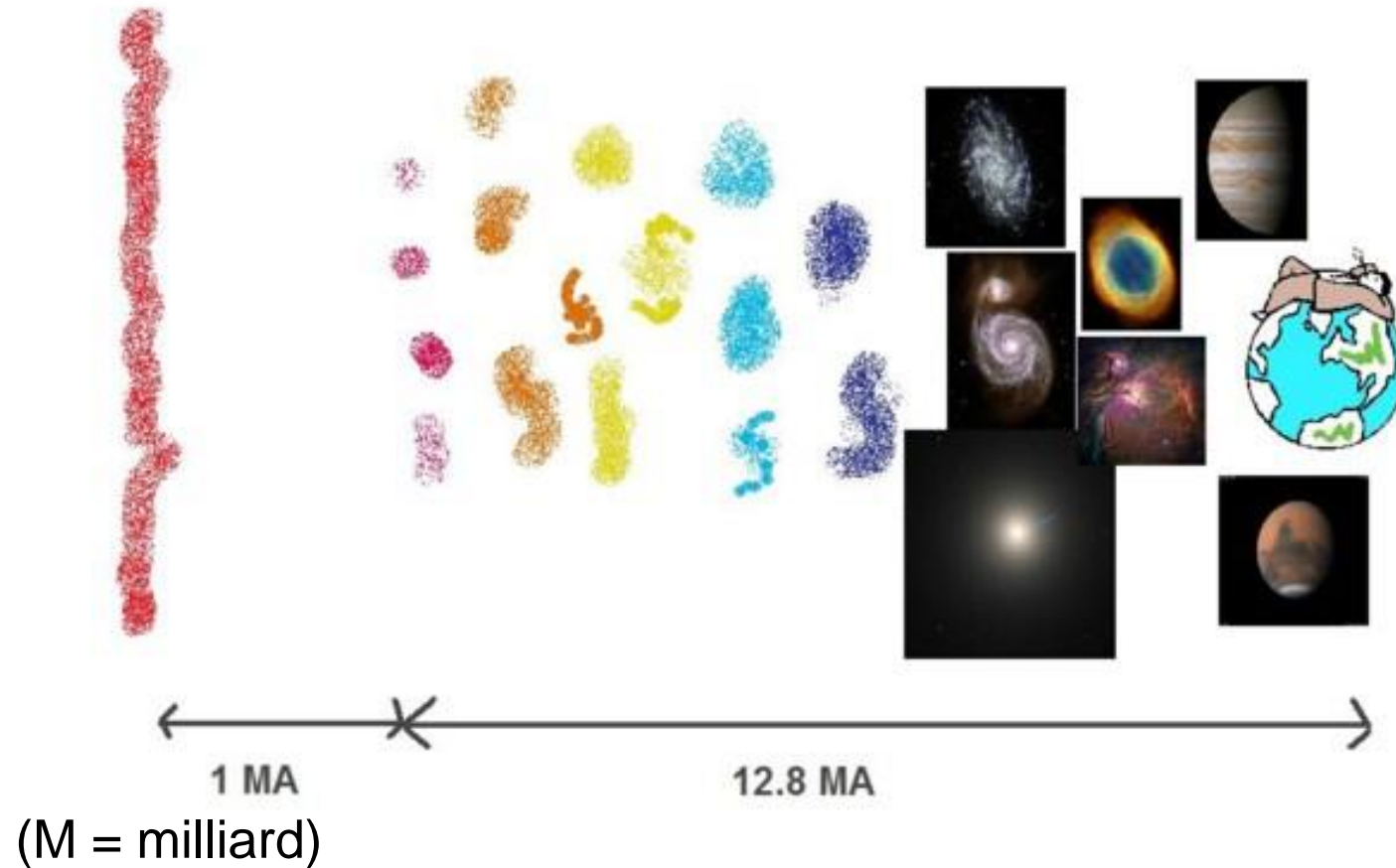


Examen de galaxies aux confins de l'Univers.

Plan

- La question
- Désolé, mais il y aura une longue introduction
- Mais qu'a-t-on réellement vu?
- Deux réponses, dont une découverte.

La question



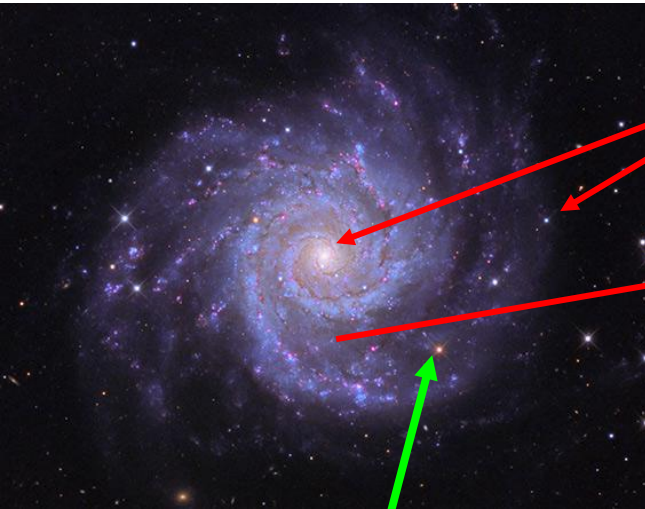
Avec JWST, nous nous attendions à voir des galaxies en formation dans le premier milliard d'années de l'Univers.

Or, on semble voir des galaxies bien formées, pourquoi?

Les générations d'étoiles

- Les premières étoiles observées, les plus proches, ont été appelées Population I, caractérisées par:
 - Une surabondance d'étoiles de faible masse;
 - une composition comportant une proportion non-négligeable d'éléments lourds (C, O, N);
 - Formées au cours des derniers milliards d'années (5 MA pour le Soleil)
- Plus loin, au centre de la galaxie et autour, dans les amas globulaires, des étoiles de Population II:
 - Masses plus grandes;
 - très pauvres en éléments lourds (mais pas entièrement dépourvues);
 - certaines ont 12 MA !
- Comme si Population II = génération 1 et vice-versa.
- Y aurait-il une Population III (i.e. génération 0)?

Formation des étoiles



Population II

Population I



M8 nébuleuse émissive

Après 1 million
d'années

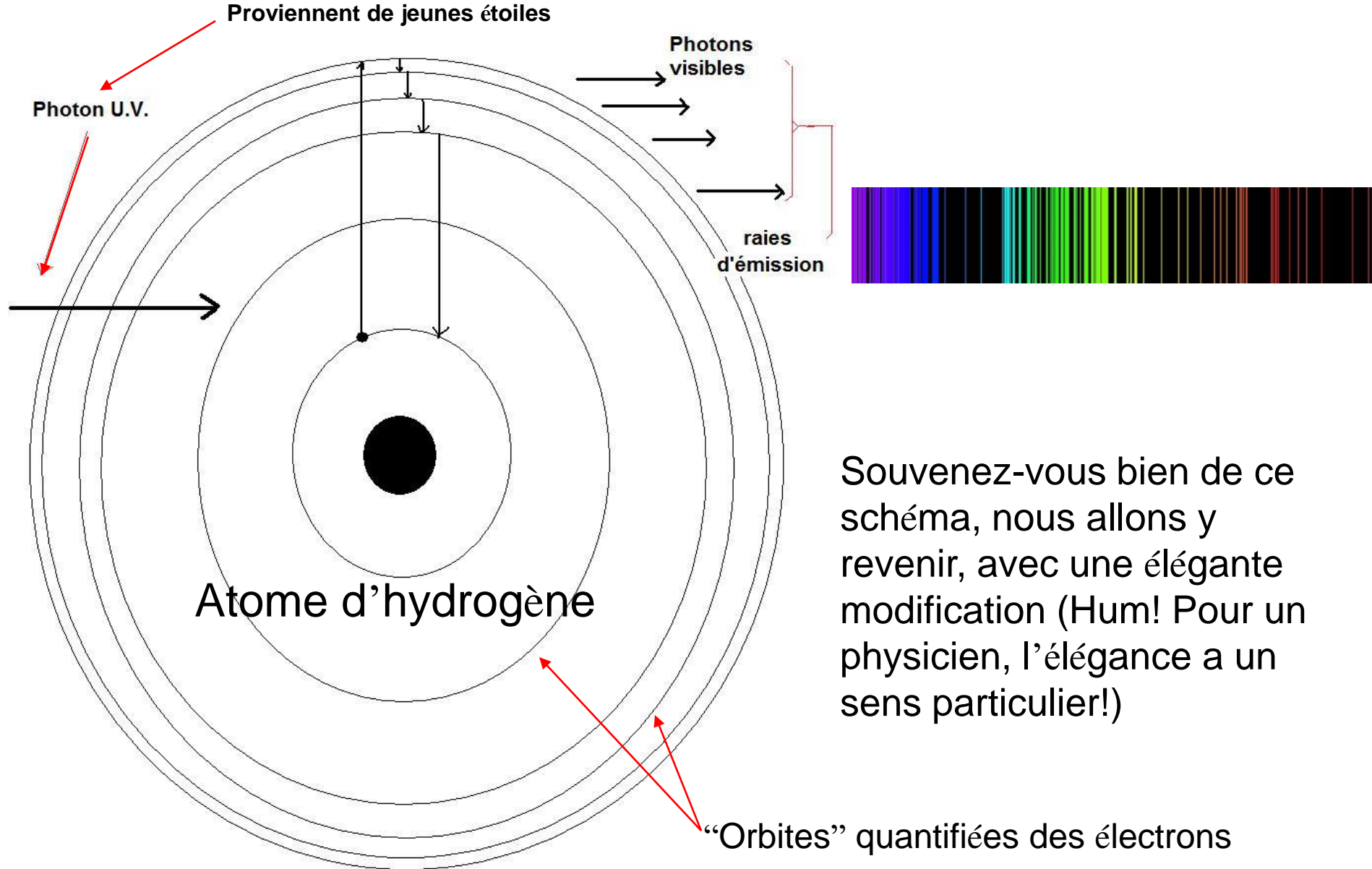


M78 nébuleuse mixte émis/réflexive

Formation des étoiles

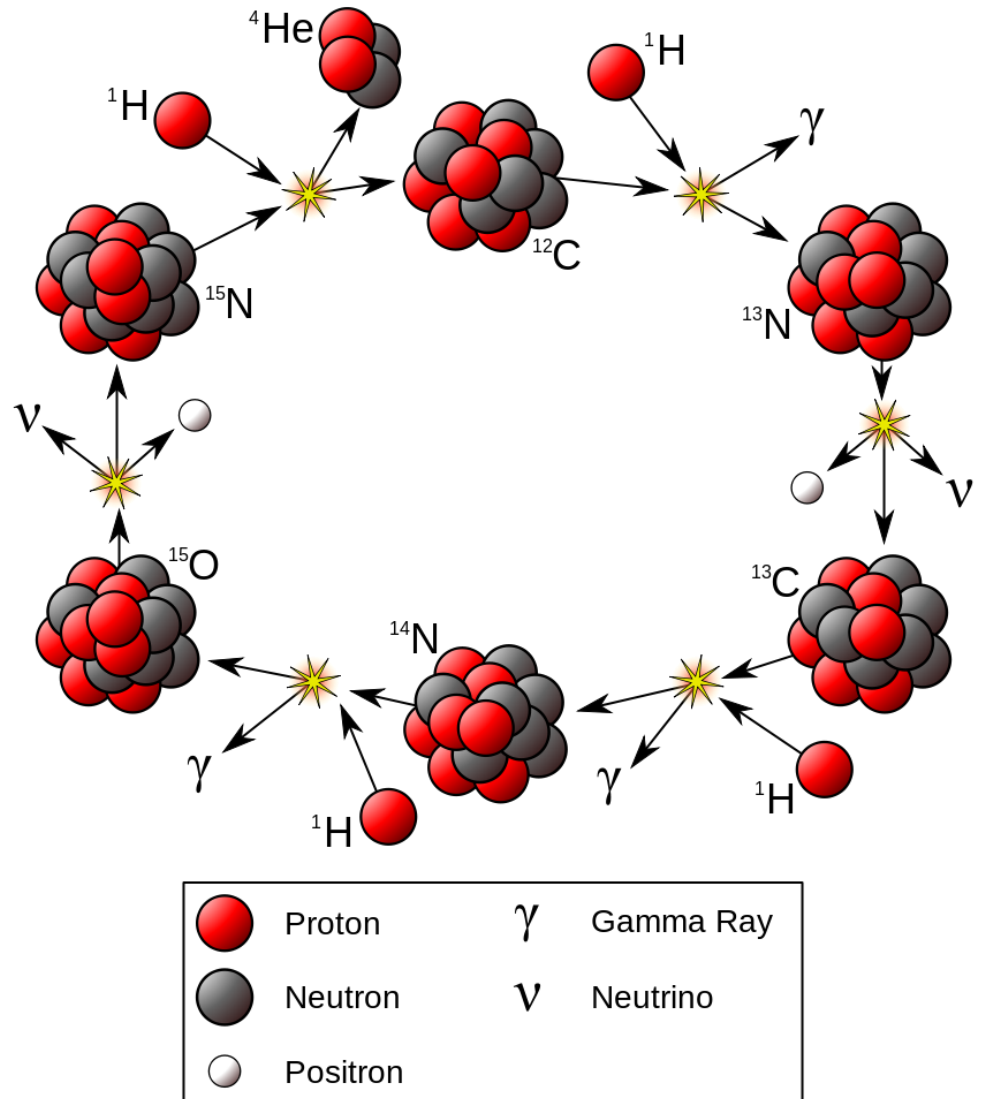
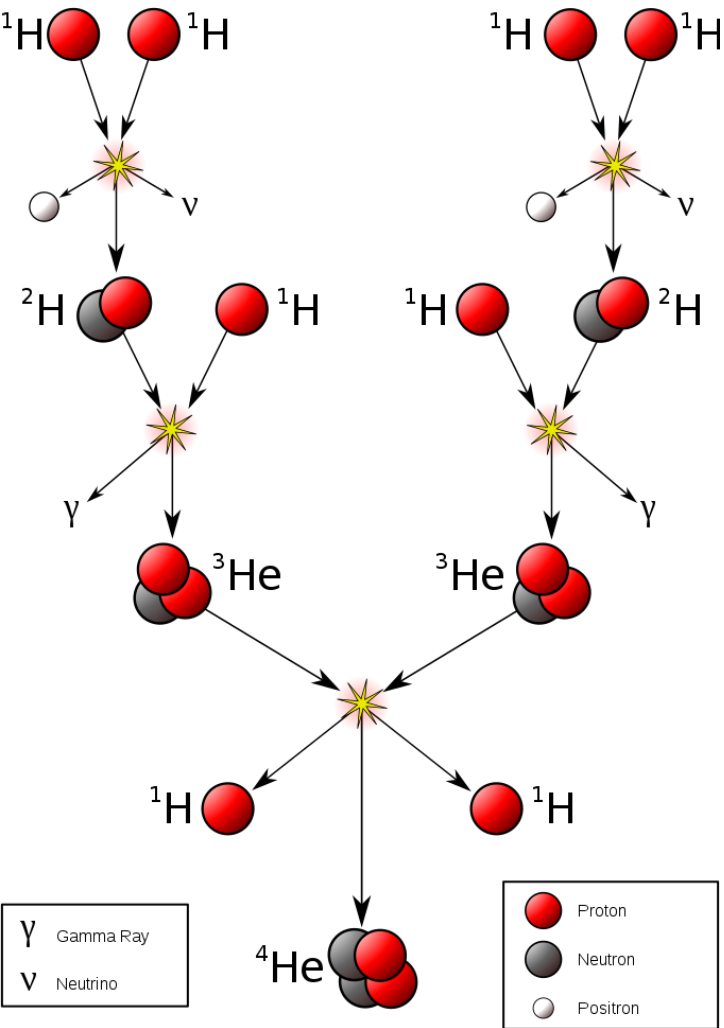
- Les nébuleuses comme M8, M42 et autres qui sont des “pouponnières d’étoiles” sont formées de gaz (de très faible densité) et poussières éjectés par de plus vieilles étoiles arrivées en fin de vie.
- Ces gaz et poussières contiennent des déchets nucléaires (éléments lourds: C, N, O, Si et plus) provenant de milliards d’années de fusion nucléaires.
- En conséquence chaque nouvelle génération d’étoiles contient une quantité accrue d’éléments lourds, ce qui permet une réaction nucléaire à plus basse température.

Couleur des nébuleuses émissives

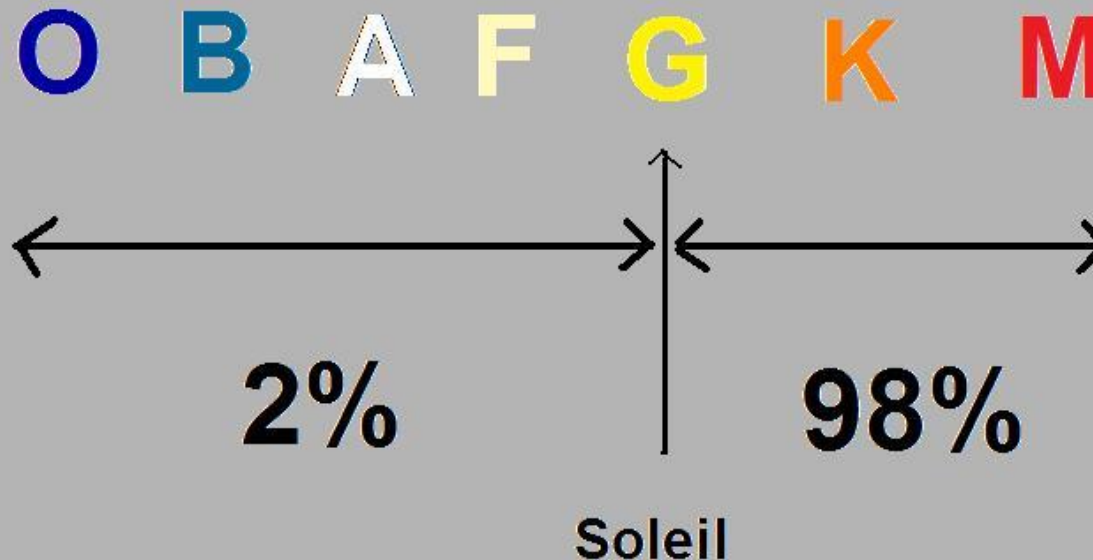


Souvenez-vous bien de ce schéma, nous allons y revenir, avec une élégante modification (Hum! Pour un physicien, l'élégance a un sens particulier!)

Au coeur des étoiles, l'importance des éléments lourds



Proportions des étoiles de Population I



En toute logique, si les étoiles des premières galaxies n'ont pas eu le temps de produire des déchets nucléaires, on ne devrait y voir que des étoiles de type O ou même d'un type inconnu, encore plus chaudes et massives.


Bon, l'introduction est terminée!

Allons voir ce que JWST nous a révélé!

Mais juste avant, à quoi s'attendait-on à voir dans la période allant de 100,000 ans (fond diffus de l'Univers) et 1 MA (limite du Hubble ST et des télescopes terrestres)?

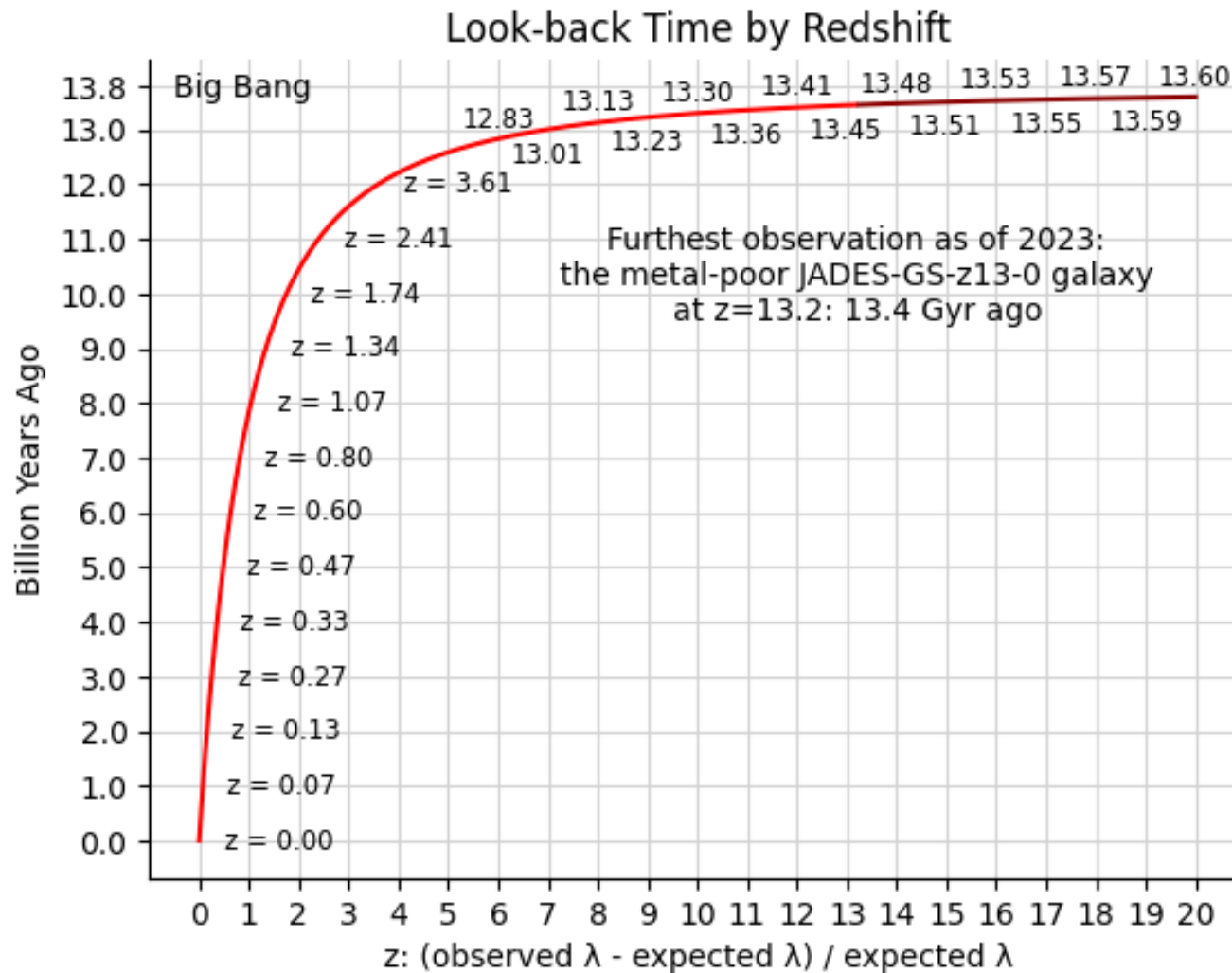
- **Beaucoup de gaz.**
- **Des galaxies contenant peu d'étoiles ...
mais de grosses étoiles sans éléments lourds.
>>> Population III ??**

De façon fracassante on a annoncé:



“325 millions d’années après le Big Bang on voit des galaxies entièrement formées ... le modèle standard vacille sur ses bases.”

Petite parenthèse sur l'âge de l'Univers.



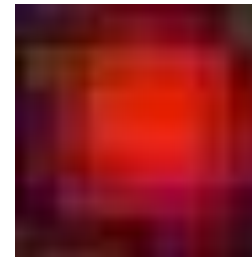
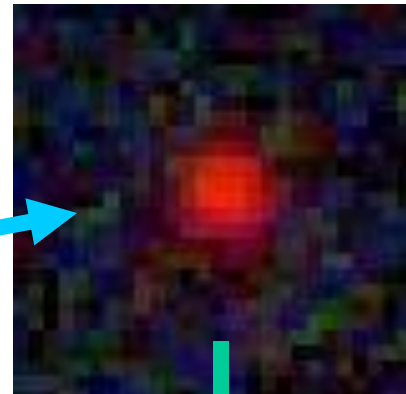
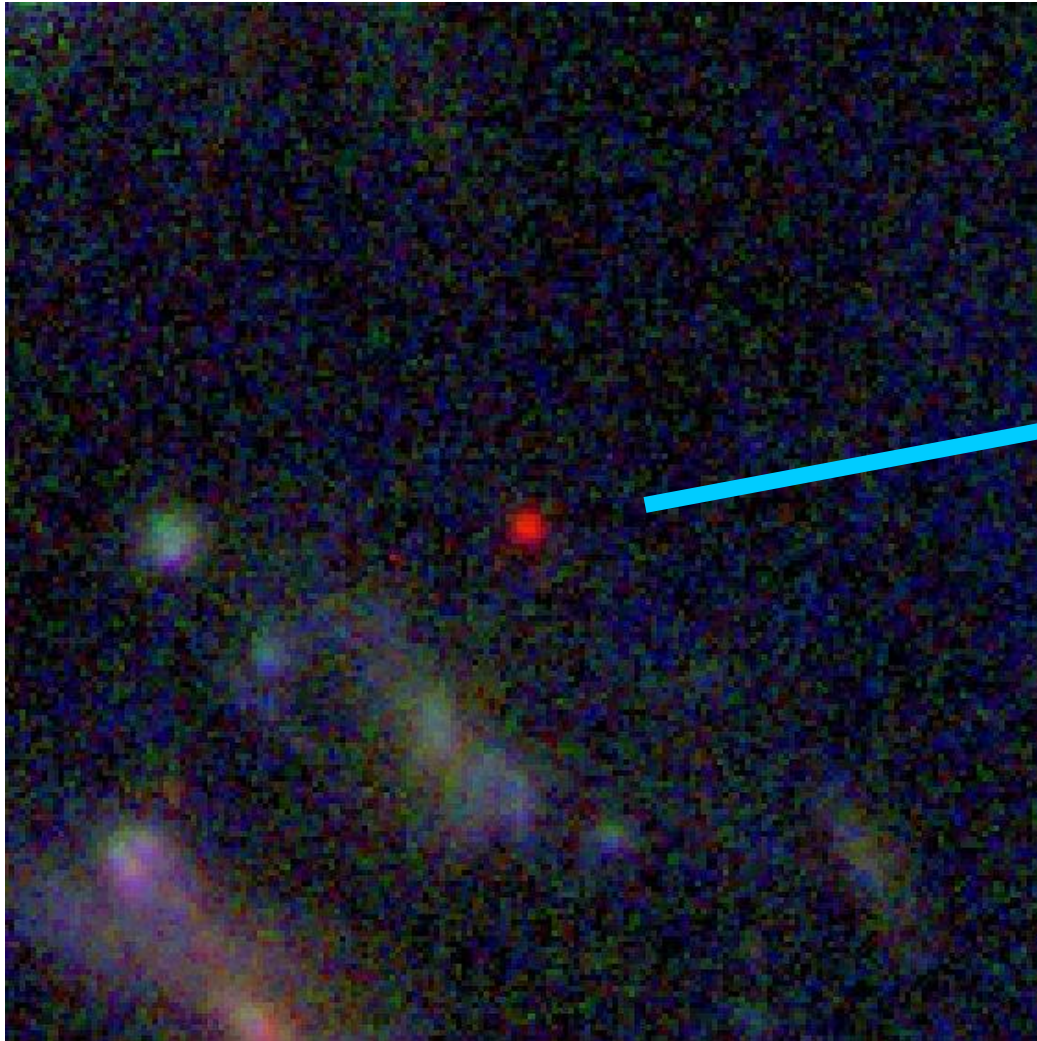
JWST : avancées indéniables

Nom	Z	Instrument
JADES-GS-z13-0	13.2	JWST
UNCOVER-z13	13.079	JWST
JADES-GS-z12-0	12.63	JWST
UNCOVER-z12	12.393	JWST
GLASS-z12	12.117	JWST
UDFj-39546284	11.58	JWST
Galaxie de Maisie	11.44	JWST
CEERS2 588	11.04	JWST
GN-z11	10.603	JWST
JADES-GS-z10-0	10.38	Hubble ST
JD-1	9.793	JWST
MACS1149-JD1	9.1096	VLT et ALMA (radiotélescope au Chili)
EGSY8p7	8.683	Keck (Hawaï)
SMACS-4590	8.496	JWST
A2744 YD4	8.38	ALMA
MACS0416 Y1	8.31	ALMA
GRB 090423	8.23	Swift Gamma-Ray Burst Explorer (observatoire spatial)

JWST : les images

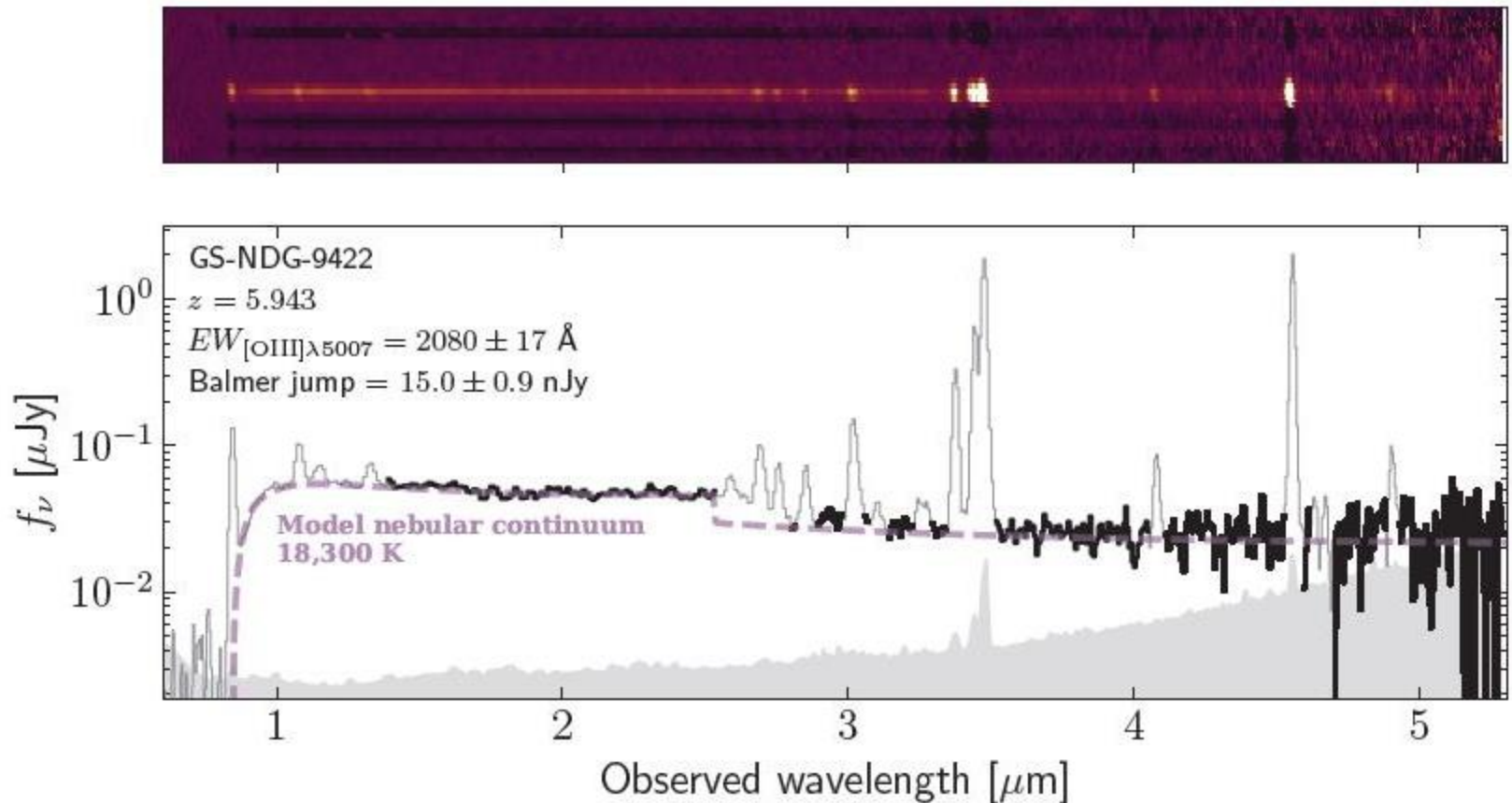
(attention, déception en vue)

GLASS-Z13



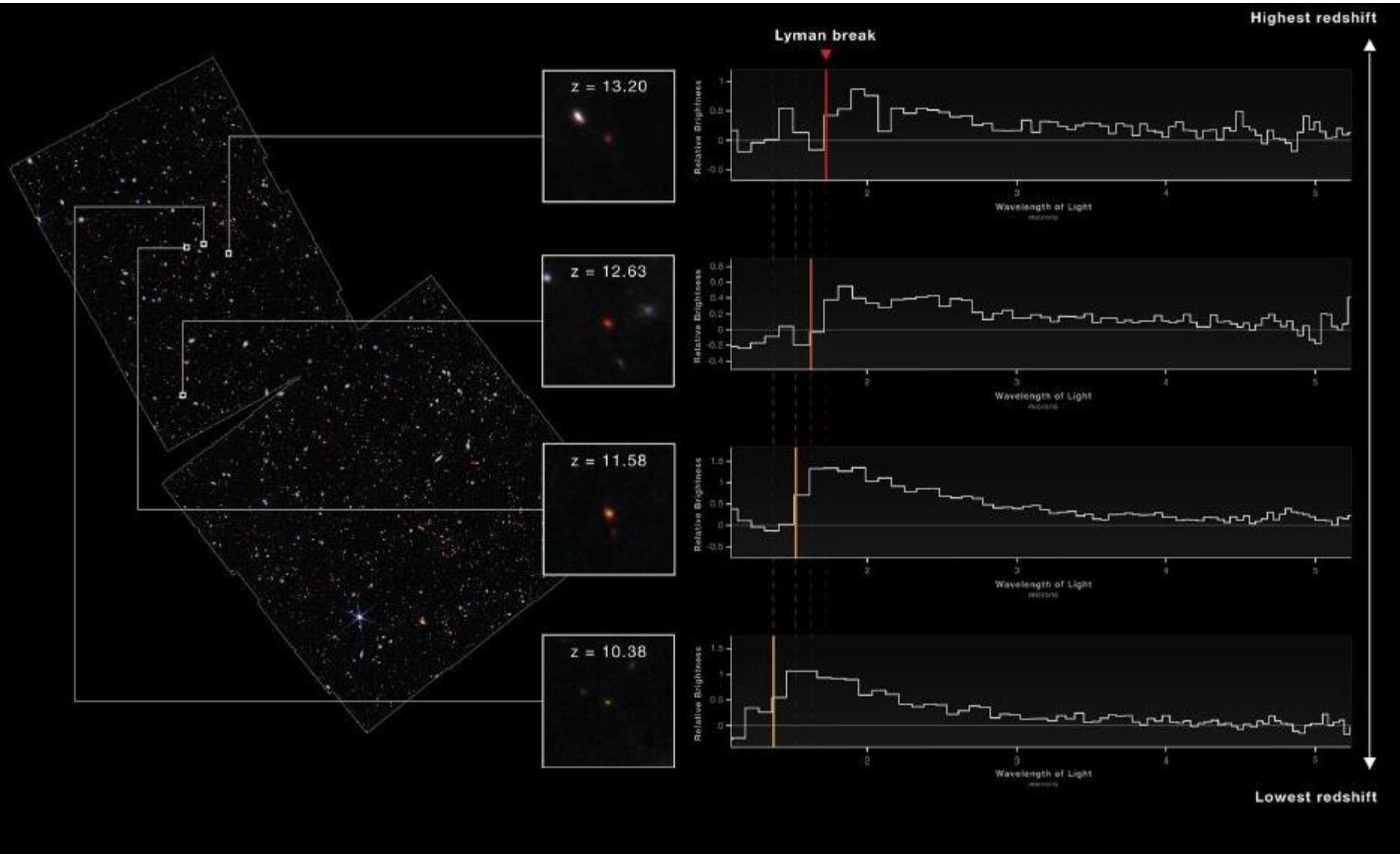
550 pixels!

JWST : sa force, c'est la spectroscopie



Ici, on s'exerce sur une galaxie ayant $Z=5.9$;
Bof! Seulement 12.7 M A-L ...Remarquez la portion plate à gauche.

JWST : passons aux choses sérieuses!



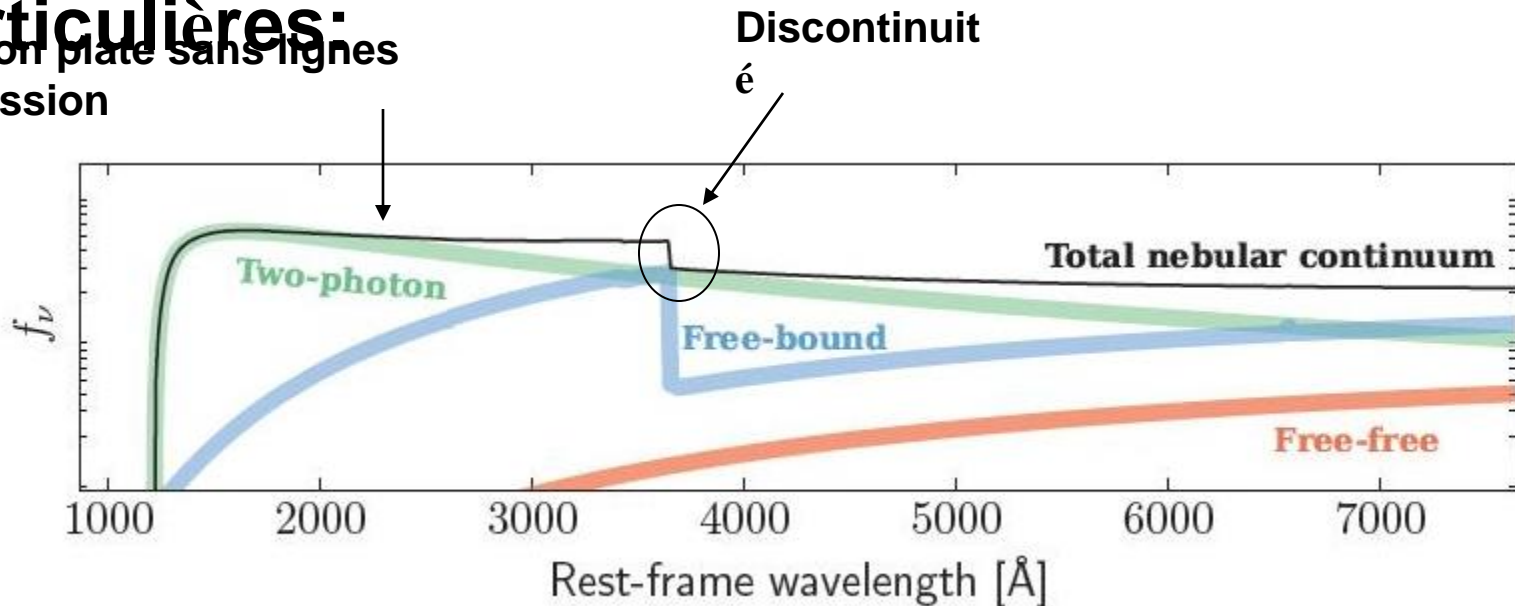
Ces spectres ont demandés 14 heures d'exposition chacun. L'analyse doit se faire par des méthodes statistiques poussées.

Premières conclusions:

- Les spectres ressemblent à ceux de galaxies proches de nous.
- Si on applique les modèles de formation d'étoiles de Population I, alors ces galaxies lointaines possèdent seulement 10 fois moins d'étoiles que notre Galaxie.

Mais voilà! On remarque deux choses particulières:

Section plate sans lignes
d'émission



Spectre caractéristique de galaxie à $Z > 11$

Arrivent alors à la rescousse les collègues astronomes qui étudient les ... nébuleuses planétaires de notre Galaxie.



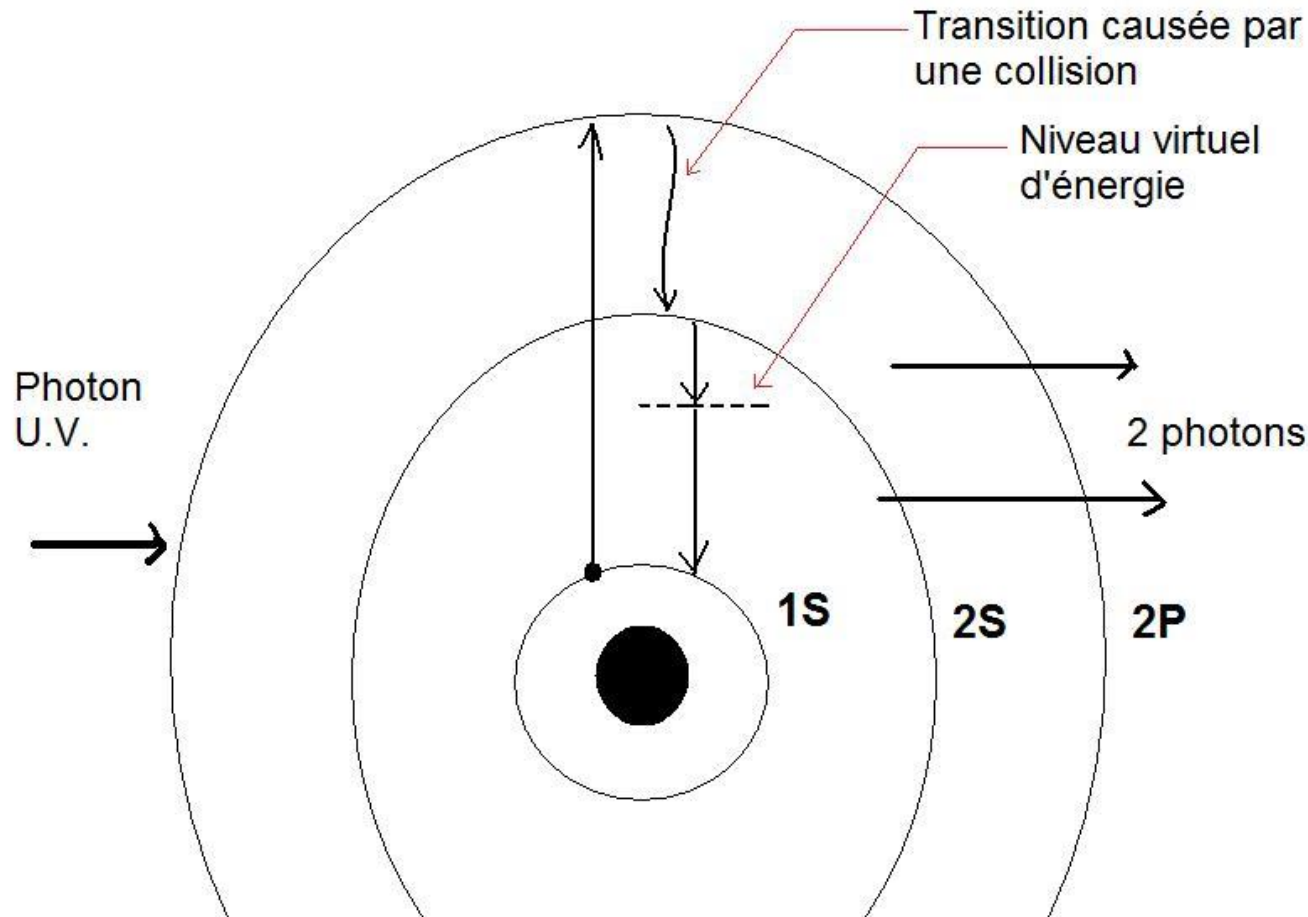
M27

Le spectre des N.P. démontrent les mêmes caractéristiques à cause

d'un phénomène nommé émission à 2 photons qui se produit dans les circonstance suivantes:

- **Source intense de rayons UV (la naine blanche centrale), et**
- **un gaz de haute densité (contrairement aux nébuleuses comme M8).**

Émission à 2 photons



Tout comme $100=99+1$ ou $98+2$ ou $97+3$ etc, la somme des fréquences des deux photons est fixe mais le nombre de combinaisons est infini, d'où un spectre plat.

En conclusion (préliminaire ... plus d'observations requises, selon la formule consacrée)

- JWST semble confirmer que les premières galaxies à se former dans notre Univers contiennent beaucoup de gaz.
- JWST semble avoir découvert que ces galaxies contiennent des étoiles hypermassives (au moins 50 masses solaires comme les étoiles de type O ou même plus), très chaudes, émettant une grande quantité de UV, ce qu'on attendait d'étoiles de Population III.

Et fiou! Le modèle standard du Big Bang obtient un sursis.

Des question?

Merci.