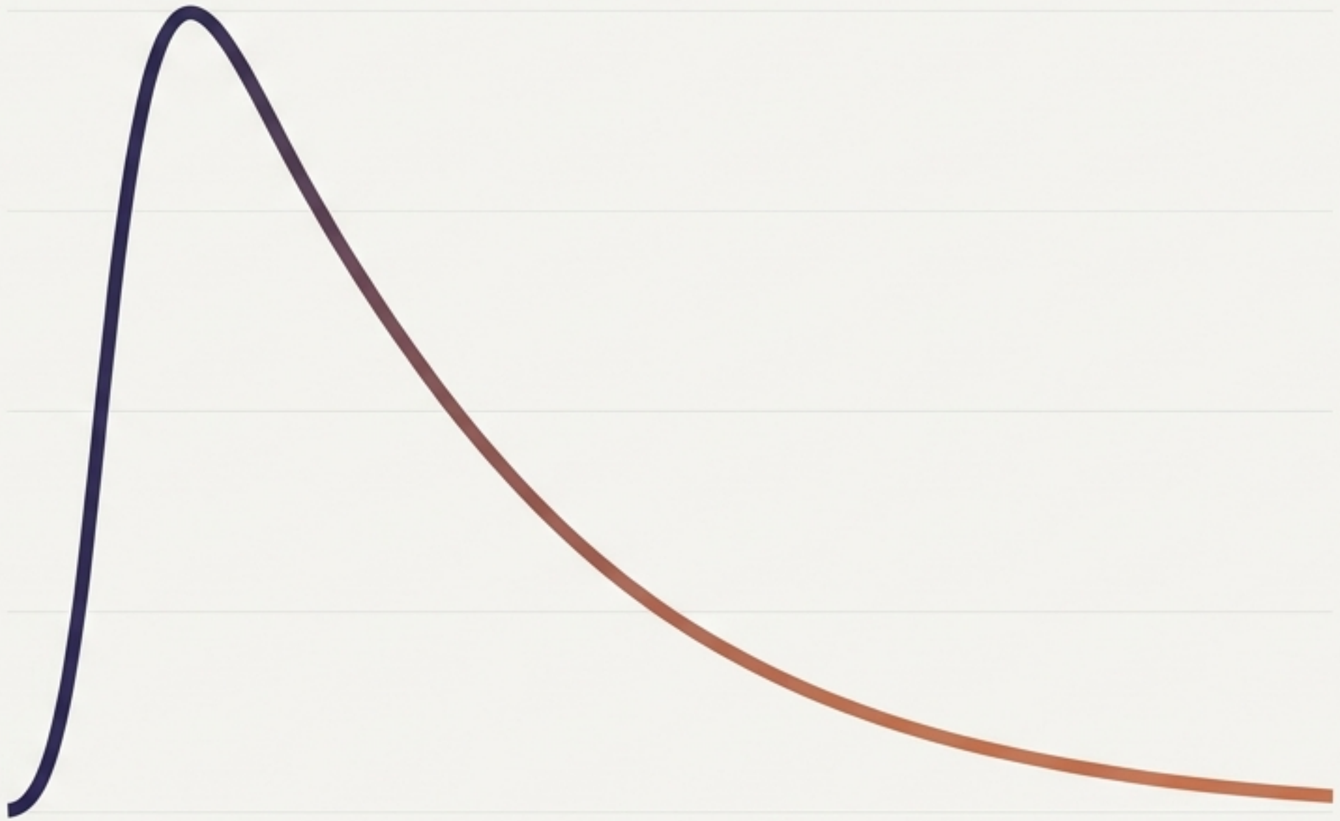
L’Histoire Cosmique de la Formation Stellaire

Synthèse de l’évolution de l’Univers selon Madau & Dickinson

Basé sur Annu. Rev. Astron. Astrophys. 2014



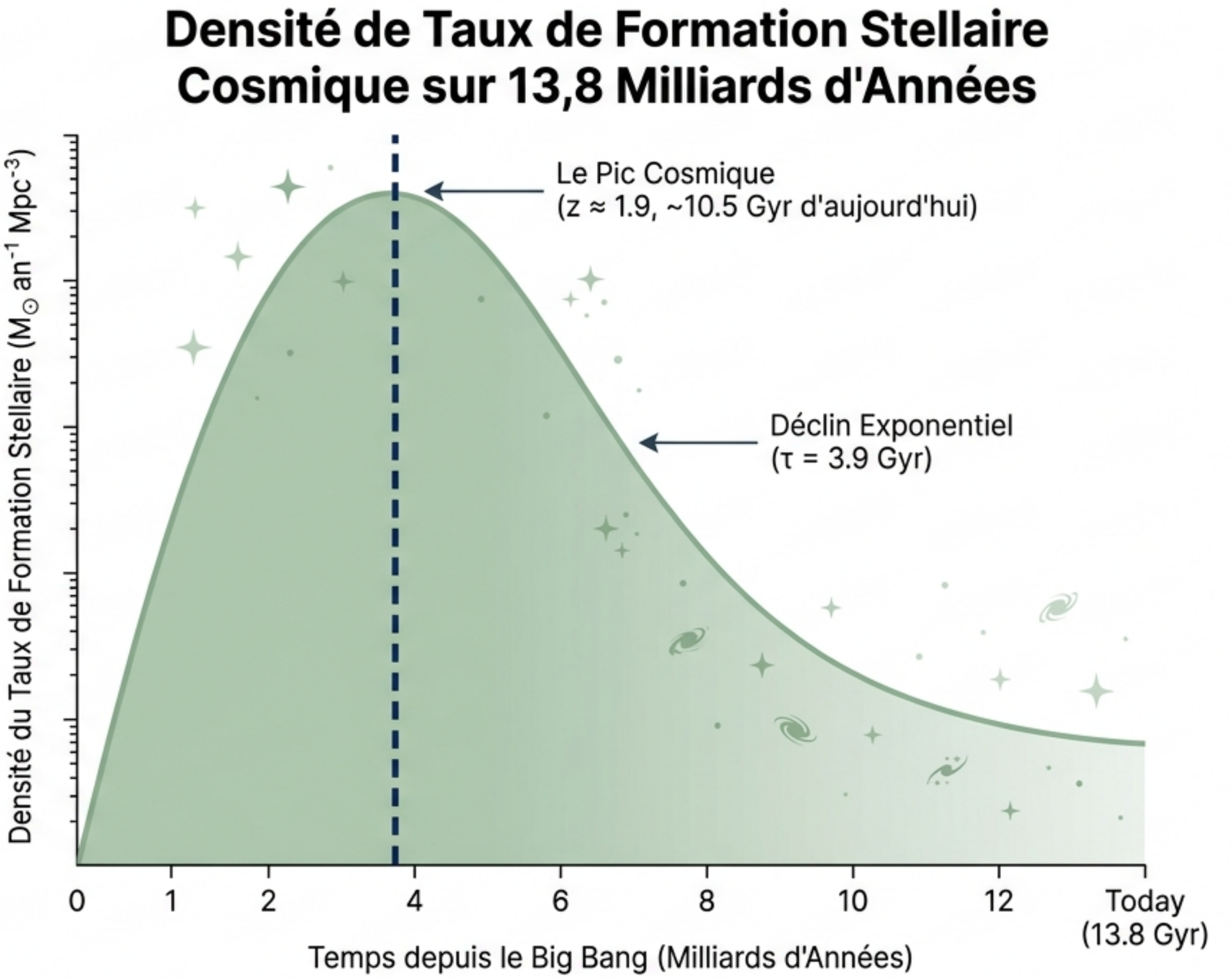
NotebookLM

Le Crépuscule de la Création Stellaire

L'Univers a dépassé son apogée. Le taux de formation d'étoiles a culminé il y a plus de 10 milliards d'années.

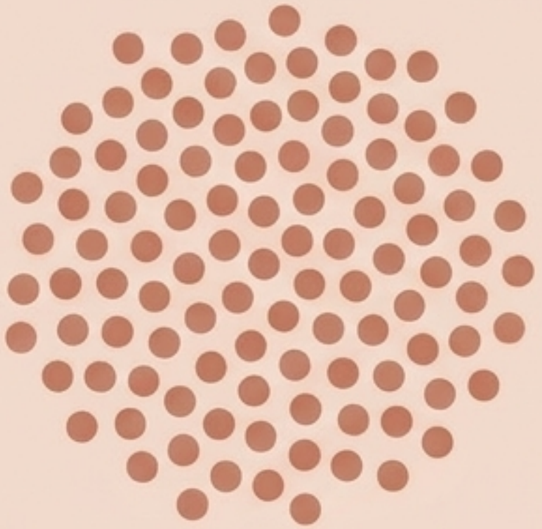
Aujourd'hui, nous vivons dans une ère de déclin exponentiel.

L'Enigme : Comment transformer la lumière captée par nos télescopes en une histoire de la masse cosmique ?

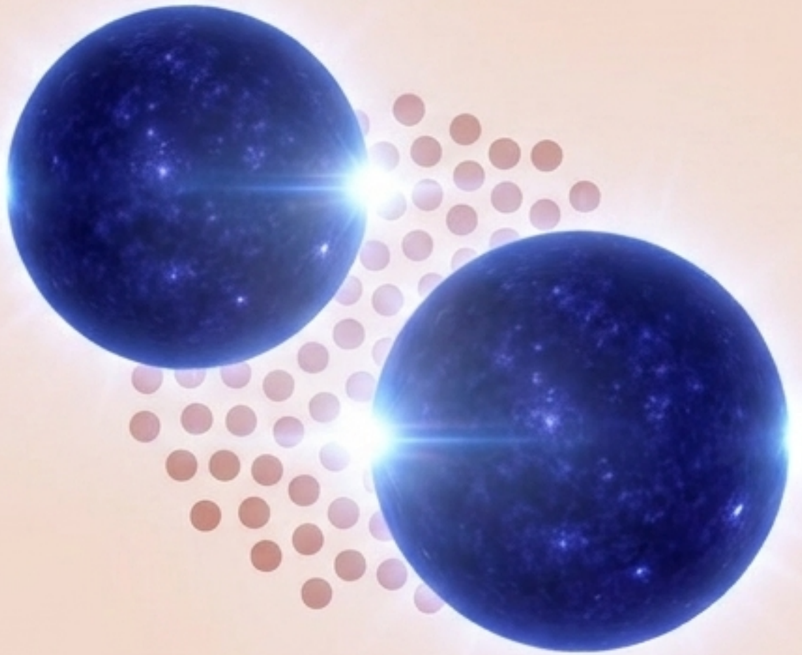


NotebookLM

Le Défi de la Mesure : L’Effet d’Éblouissement



Étoiles anciennes de faible masse
- La majorité de la masse stellaire



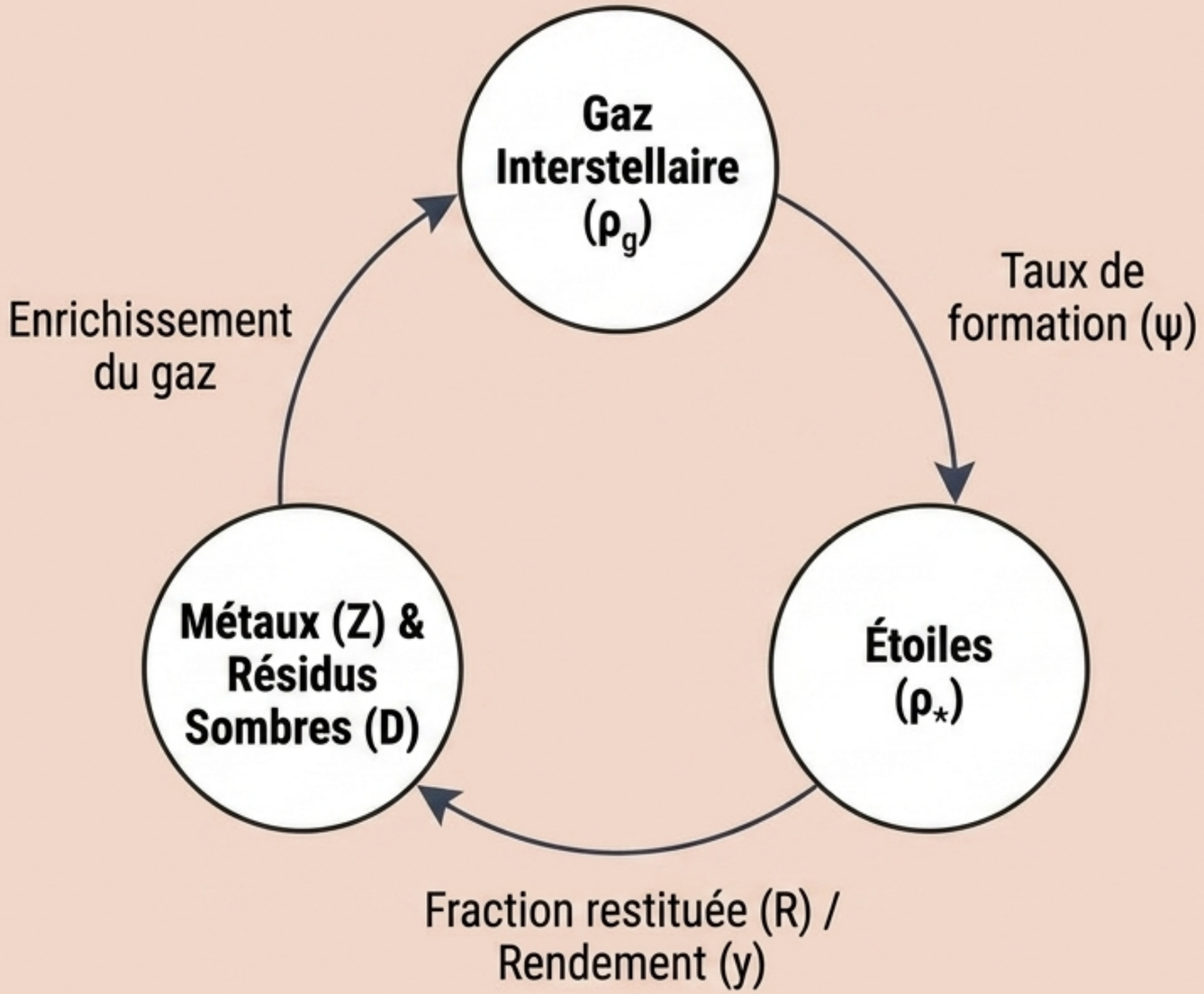
Jeunes étoiles massives
- La majorité de la lumière UV

La lumière UV d'une galaxie est dominée par des étoiles massives à courte durée de vie. La masse réelle est cachée dans des milliards d'étoiles anciennes, invisibles dans l'éclat des jeunes.

Conclusion : Estimer la masse à partir de la lumière nécessite des modèles complexes de synthèse de populations stellaires.

NotebookLM

Le Métabolisme de l'Univers



Équations d'Évolution

Croissance de la masse stellaire :

$$\frac{d\rho_*}{dt} = (1-R)\psi$$

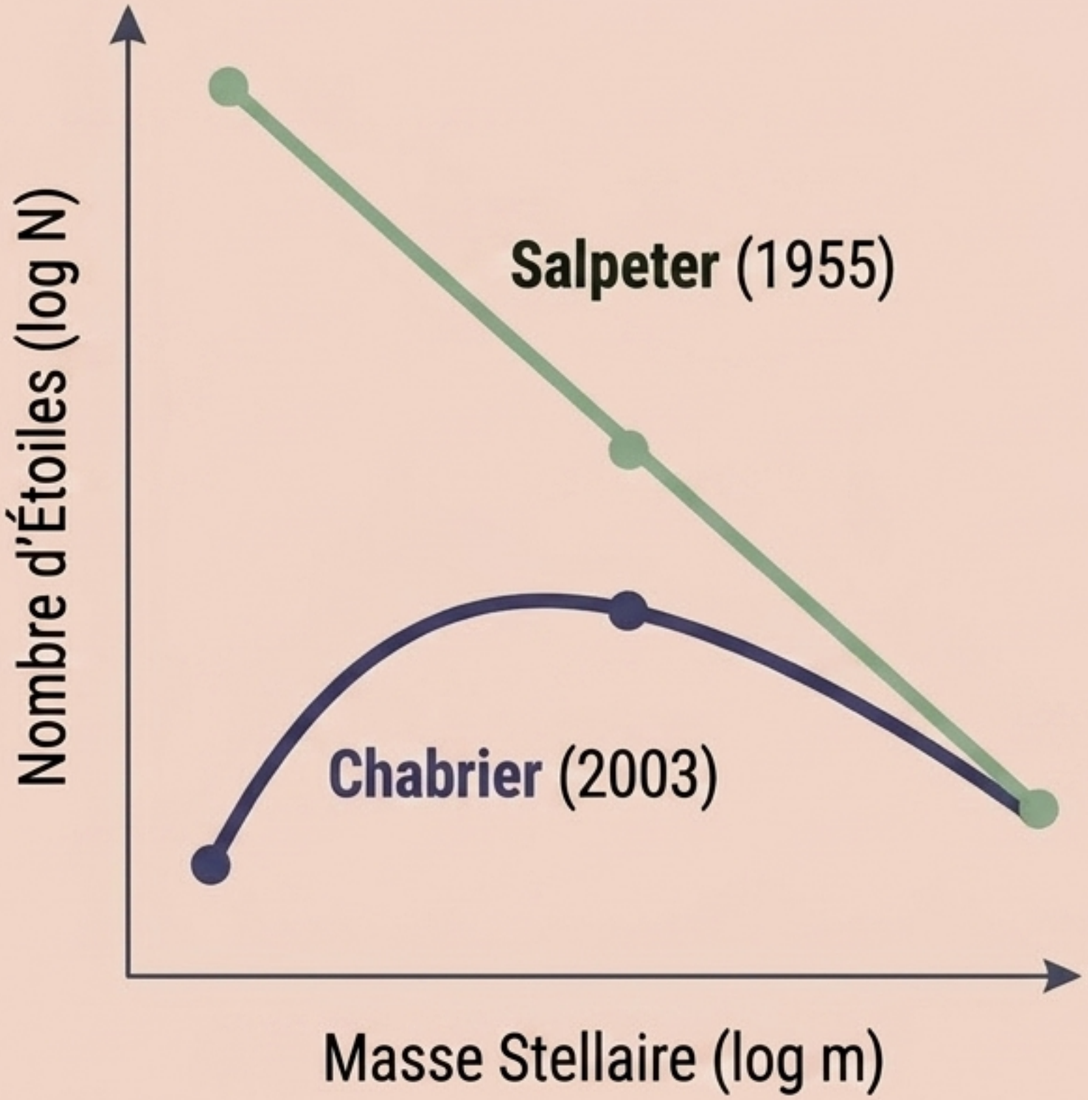
Enrichissement chimique :

$$\rho_g \frac{dZ}{dt} = y(1-R)\psi$$

Pour chaque masse élémentaire verrouillée dans une étoile à longue durée de vie, la métallicité du gaz environnant augmente.

NotebookLM

La Pierre de Rosette de la Lumière : L'IMF



	Salpeter	Chabrier
Fraction restituée (R)	0.27	0.41
Résidus sombres (D)	12%	19%
Rendement net (y)	0.016	0.032

L'Univers possède une recette moyenne.
Passer d'une IMF de Salpeter à Chabrier ne change pas fondamentalement l'histoire, mais recadre le ratio Masse/Lumière d'un facteur constant (~0.6).

NotebookLM

Le Couteau Suisse des Longueurs d'Onde

Traceur	Cible Stellaire	Vulnérabilité à la Poussière	Instruments Clés
Ultraviolet (1500 Å)	Étoiles massives (< 100 Myr)	Critique (Très affecté)	GALEX, Hubble
Infrarouge (8-1000 µm)	Étoiles cachées, Poussière	Insensible	Spitzer, Herschel, ALMA
Lignes d'Émission (Hα)	Régions HII (< 20 Myr)	Modérée	Télescopes terrestres, SDSS
Radio (1.4 GHz)	Supernovas	Nulle	VLA, GMRT

Aucune longueur d'onde n'offre une image complète. L'histoire cosmique exige la fusion des données.

NotebookLM

L’Ultraviolet : Le Traceur Direct

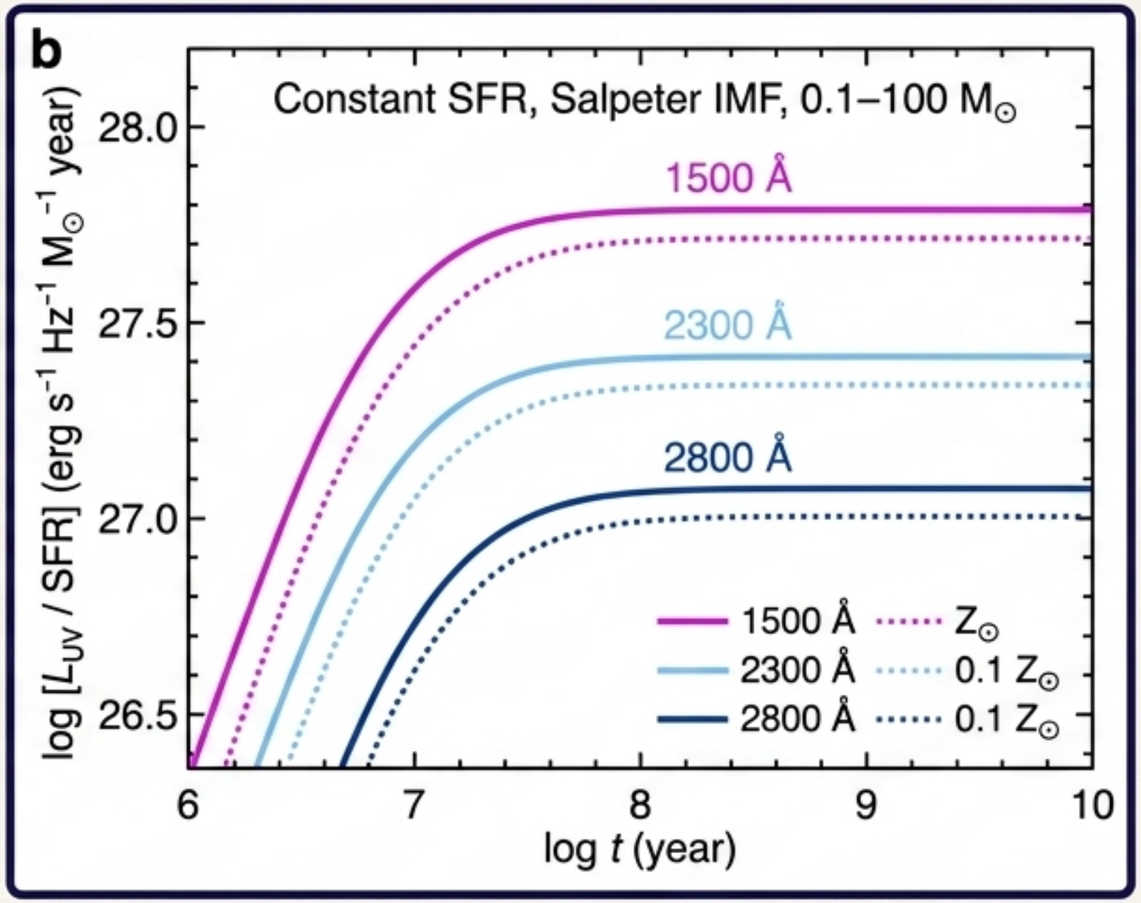
L’émission UV (1500 Å) est le marqueur le plus direct de la formation instantanée d’étoiles massives.

Pour une galaxie formant des étoiles à un rythme constant, la luminosité UV se stabilise rapidement (~300 millions d’années).

Facteur de Conversion FUV

$$K_{\mathrm{FUV}} = 1.15 \times 10^{-28}\ \mathrm{M_\odot\ an^{-1}\ erg^{-1}\ s\ Hz}$$

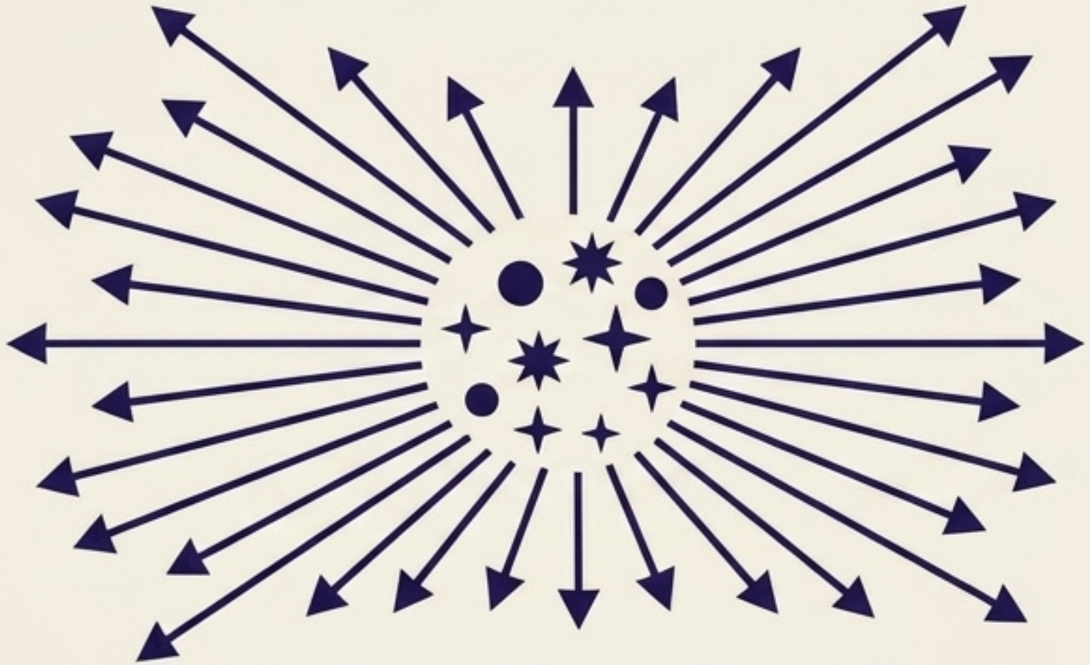
⚠ **Alerte Système :** Extrêmement sensible à l’extinction par la poussière cosmique. Sans correction, l’UV rate la majorité de la création stellaire.



NotebookLM

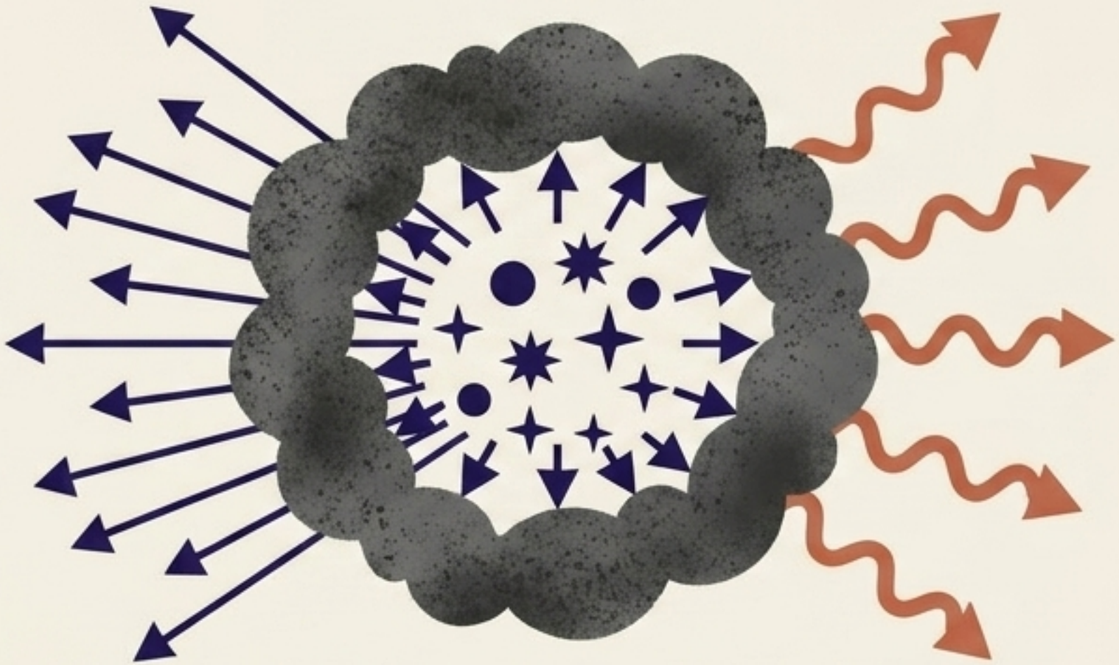
Le Mécanisme de l’Écran de Poussière

Galaxie Transparente



Lumière Directe
(Mesurée en UV)

Galaxie Obscurcie



Lumière Reprocessée
(Mesurée en IR)

La poussière interstellaire absorbe la lumière UV des jeunes étoiles et la réémet sous forme de rayonnement thermique dans l'infrarouge. Pour les galaxies les plus actives, la quasi-totalité de l'information stellaire est obscurcie.

NotebookLM

L’Infrarouge : Révéler la Face Cachée

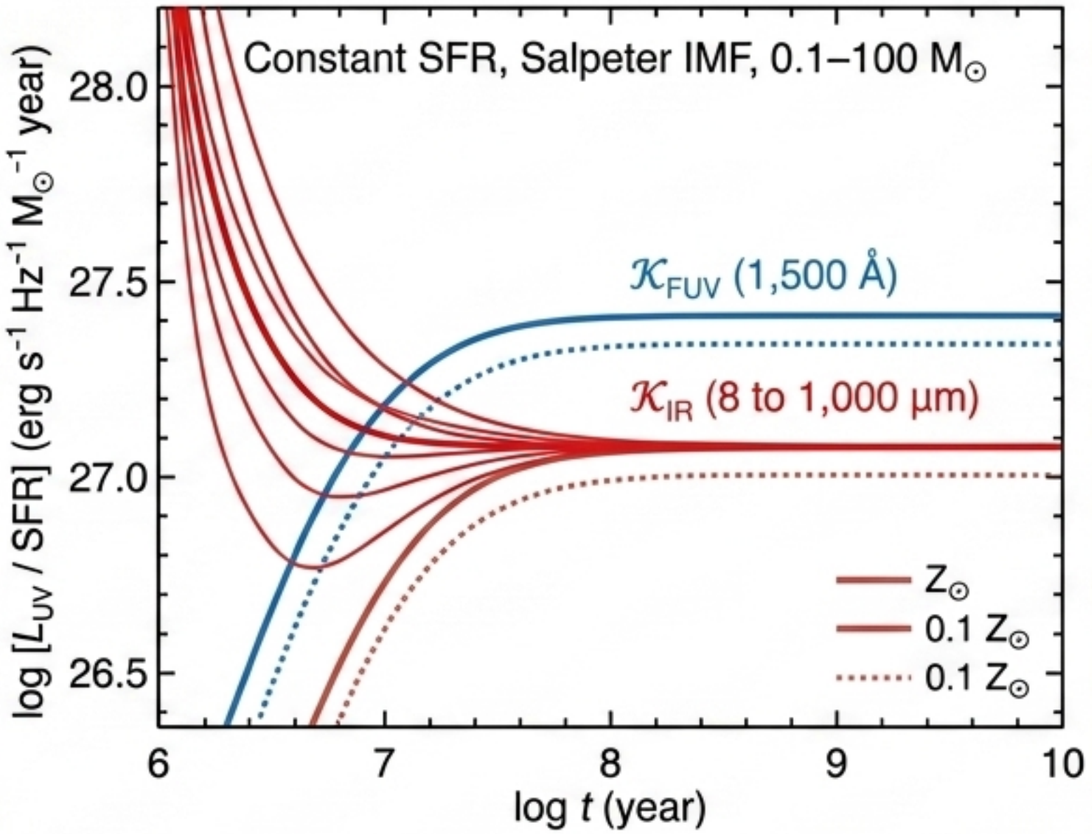
L’infrarouge total agit comme un calorimètre pour l’énergie absorbée par la poussière.

Contrairement à l’UV, l’IR augmente lentement au fil du temps à mesure que la lumière des étoiles plus anciennes s’accumule.

L’équation fondamentale de la formation stellaire totale :

$$\mathrm{SFR}_{\mathrm{tot}} = K_{\mathrm{FUV}} L_{\mathrm{FUV}} + K_{\mathrm{IR}} L_{\mathrm{IR}}$$

$$K_{\mathrm{IR}} = 4.5 \times 10^{-44}\ \mathrm{M_{\odot}\ an^{-1}\ erg^{-1}\ s}$$



NotebookLM

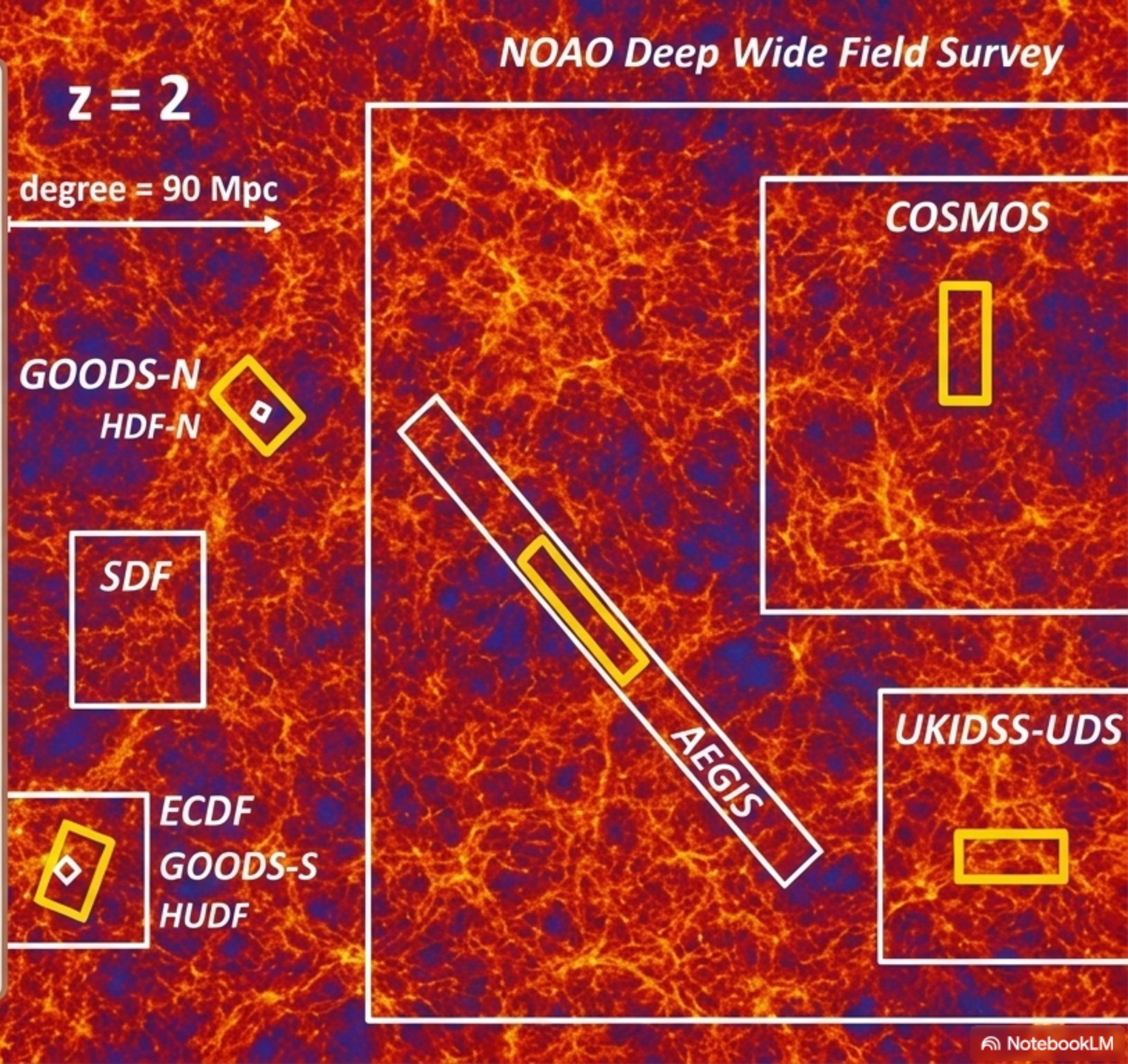
Cartographier l'Abysse

Reconstituer l'histoire cosmique exige de sonder différentes strates du temps.

Le Compromis Fondamental :

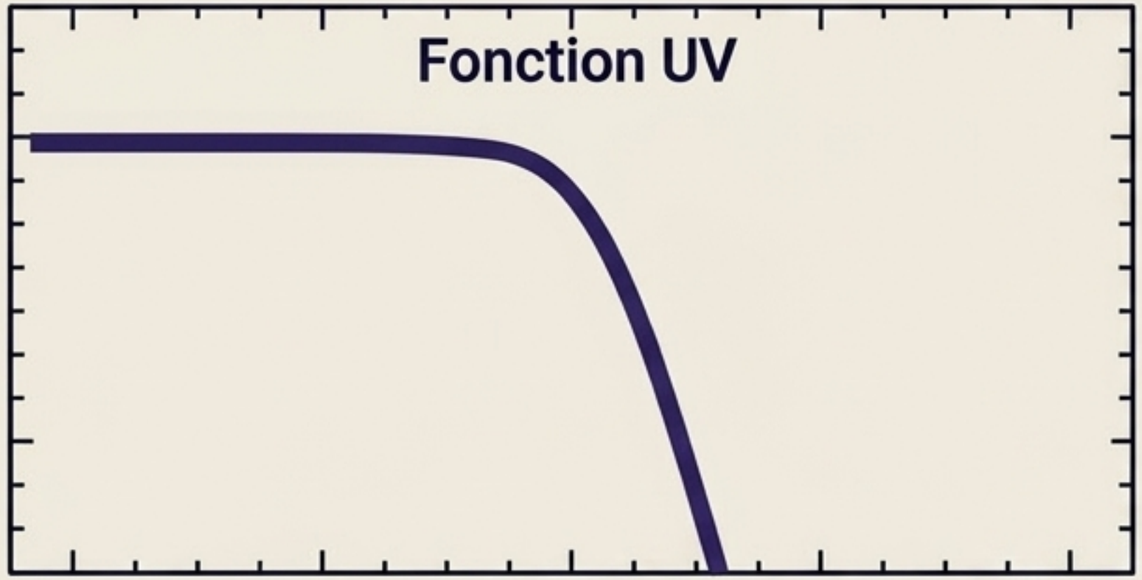
Les champs ultra-profonds voient les galaxies les plus lointaines mais couvrent un volume minuscule (risque de variance cosmique).
Les grands champs cartographient de vastes structures mais ratent les objets les plus faibles.

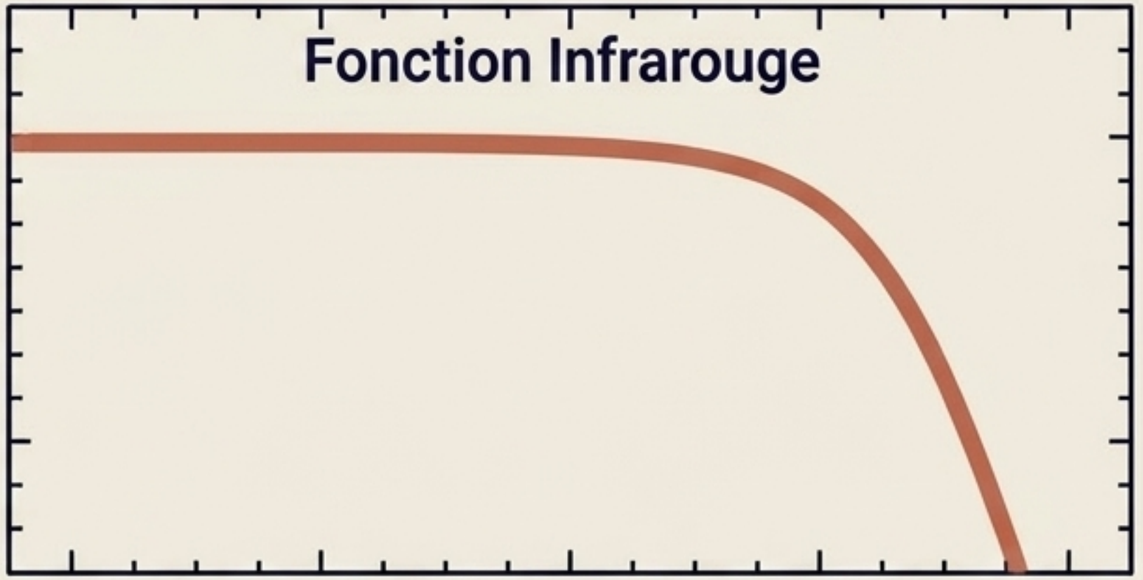
Le télescope spatial Spitzer est essentiel au-delà de z=4 pour peser la masse stellaire totale.



NotebookLM

L’Évolution des Fonctions de Luminosité

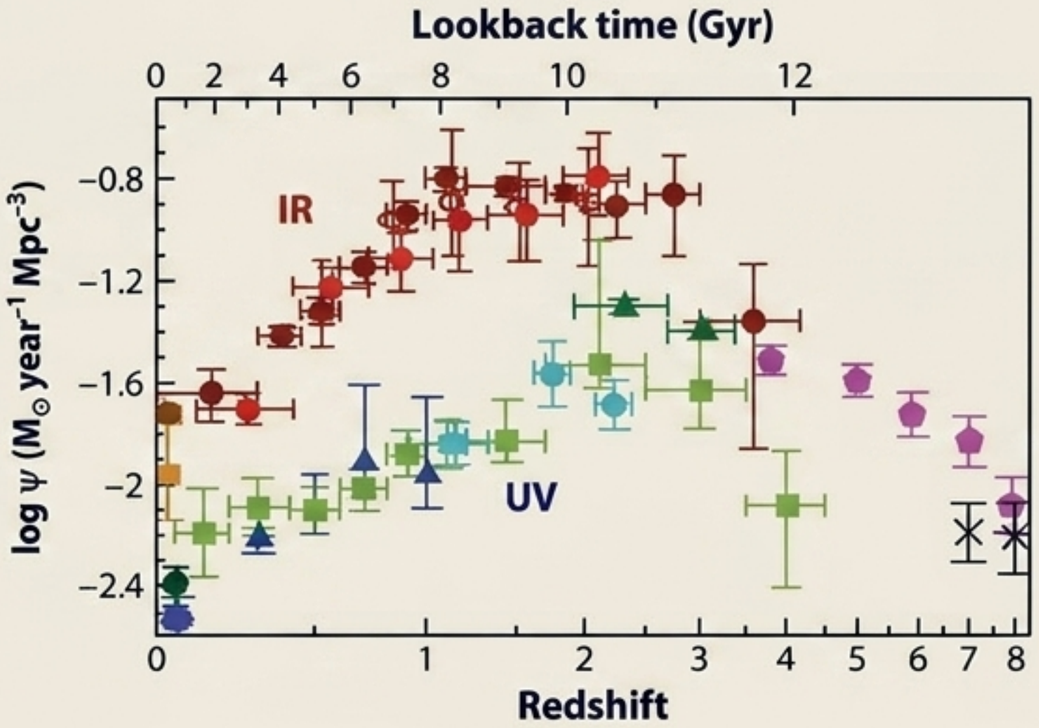




1. Les fonctions Infrarouges s’étendent vers des luminosités beaucoup plus élevées que les UV.
2. Les galaxies formant le plus d’étoiles (ULIRGs) sont si fortement obscurcies qu'elles n’apparaissent pratiquement pas dans les relevés UV purs.
3. Il existe une forte évolution lumineuse : le genou de la fonction infrarouge devient considérablement plus brillant dans le passé (z=2).

NotebookLM

La Confrontation des Données : UV vs Infrarouge



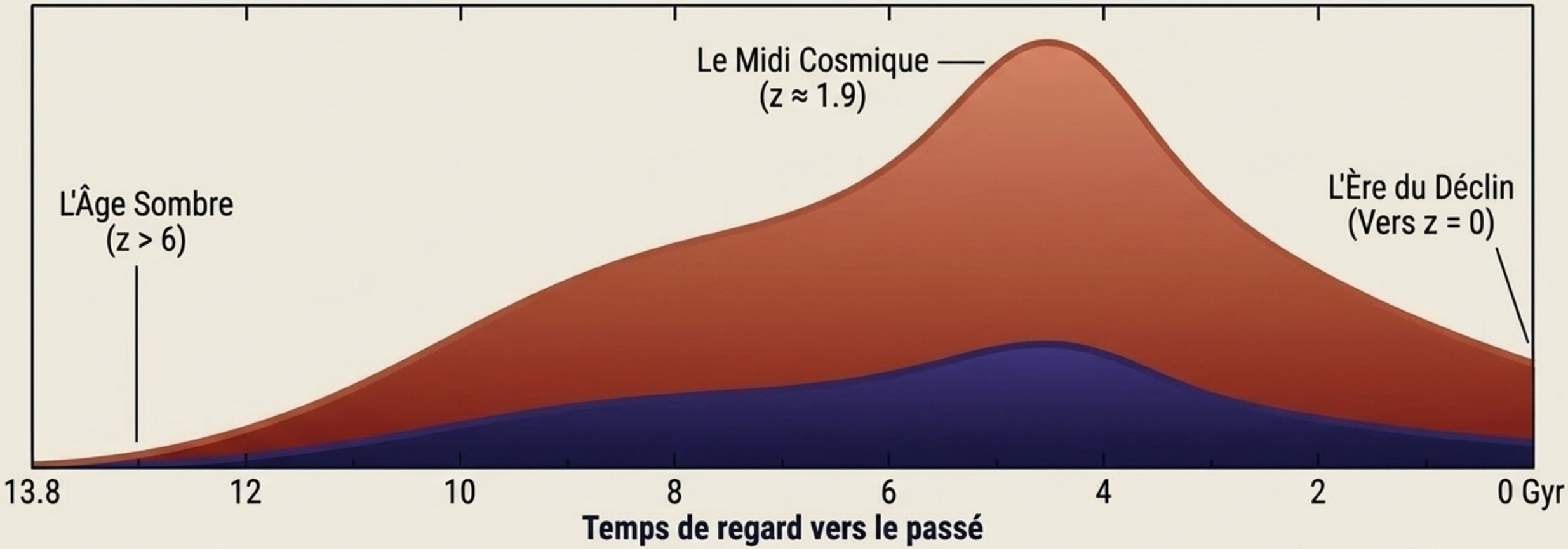
Tracées indépendamment, les données brutes racontent deux histoires incomplètes.

La divergence : Au pic de la formation stellaire (z ≈ 2), la majorité absolue de l'énergie stellaire était absorbée par la poussière.

L'UV brut seul sous-estime massivement la création stellaire à l'apogée cosmique.

NotebookLM

La Courbe de Madau : La Synthèse Globale



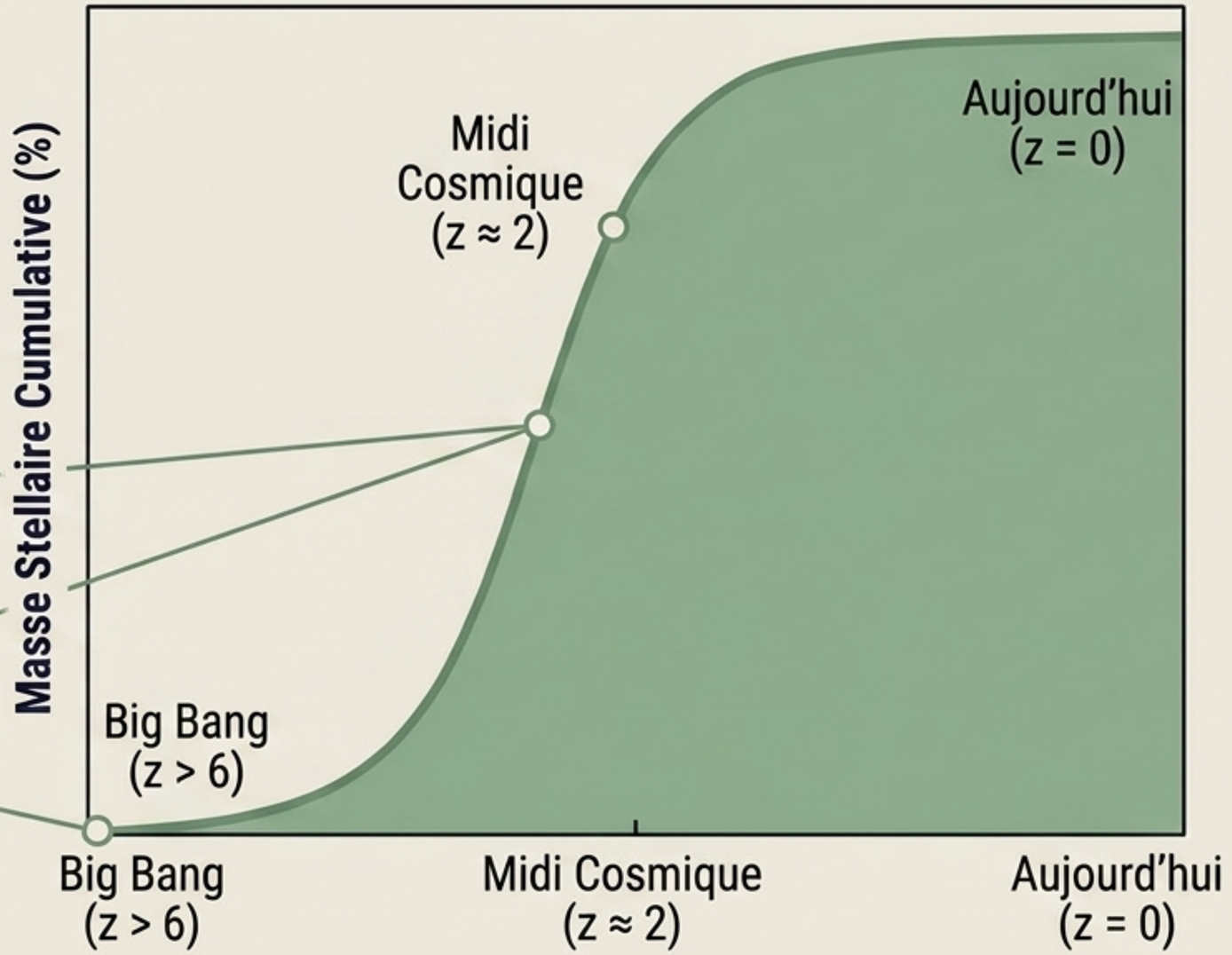
L’histoire complète de la formation d’étoiles est unifiée. En additionnant l’UV (lumière échappée) et l’IR (lumière absorbée), le véritable métabolisme de l’Univers est révélé.

NotebookLM

L’Inventaire Stellaire (Peser le Passé)

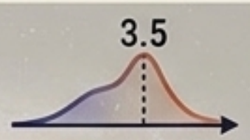
La densité de masse stellaire globale correspond remarquablement bien à l’intégrale temporelle de toute l’activité de formation stellaire précédente.

- **z=1.3** : 50% de la masse stellaire actuelle était déjà formée.
- **z=0.7** : 75% de la masse assemblée (Seulement 25% formée depuis).
- **z>6** : Moins de 1% de la masse d’aujourd’hui s’est formée durant la réionisation.



NotebookLM

Le Bilan Cosmique



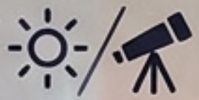
3.5 Milliards
d'années

L'âge de l'Univers lors de son activité maximale. Le Midi Cosmique est révolu.



$\tau = 3.9$
Gyr

L'échelle de temps de déclin exponentiel. L'Univers forme ses étoiles à un rythme qui s'éteint progressivement.



UV + IR
Unification

L'astronomie multi-messagers est obligatoire. La poussière cosmique ne peut plus cacher la genèse galactique.

Nous vivons dans l'ère tardive d'un Univers qui a déjà forgé la vaste majorité de sa lumière et de sa matière.

NotebookLM