

Et si la tension de Hubble était triviale ?

Stéphane Wojnow + Claude (anthropic)

28 août 2026

Une hypothèse à un seul paramètre, et ses limites

Note exploratoire — s'inscrit dans le prolongement des travaux sur les cosmologies $R_h=ct$ (Melia, 2007) et sur le cadre géométrique $R_H=N\cdot l_{Pl}$.

1. Le problème, en une phrase

Deux méthodes indépendantes mesurent la même constante — la vitesse à laquelle l'univers s'étend aujourd'hui, H_0 — et trouvent deux valeurs incompatibles :

Méthode	Valeur de H_0 (km/s/Mpc)	Ce qu'elle sonde
SH0ES (Riess et al. 2022)	$73,04 \pm 1,04$	Échelle de distance locale (Céphéides + supernovae Ia, $z < 0,15$)
Planck (Aghanim et al. 2020)	$67,4 \pm 0,5$	Spectre de puissance du fond diffus cosmologique ($z \approx 1089$)

L'écart est de 5σ — statistiquement, la probabilité que ce soit un hasard est d'environ une chance sur 3,5 millions. C'est ce qu'on appelle la « tension de Hubble », l'une des énigmes ouvertes les plus discutées de la cosmologie actuelle.

L'explication standard invoque une nouvelle physique : énergie noire précoce, neutrinos supplémentaires, modification de la relativité générale... Toutes ces pistes restent, à ce jour, spéculatives.

Cet article explore une hypothèse plus modeste — presque désarmante de simplicité — et en examine honnêtement la portée réelle.

2. Une remarque simple : ces deux mesures ne regardent pas la même chose de la même façon

Reprenons les deux méthodes, non plus par leur résultat, mais par **ce qu'elles mesurent réellement**.

SH0ES mesure un redshift z par spectroscopie, directement, pour chaque galaxie hôte de supernova (entre $z \approx 0,002$ et $z \approx 0,15$). La valeur de H_0 est ensuite extraite comme l'ordonnée

à l'origine — au sens mathématique — de la relation magnitude-redshift, extrapolée vers $z \rightarrow 0$. Cette extraction dépend très peu du modèle cosmologique choisi : à ces redshifts, seul le paramètre de décélération q_0 intervient, et son effet est négligeable (moins de 1 km/s/Mpc, même en le faisant varier fortement).

Planck ne mesure aucun redshift individuel. Il mesure un spectre de puissance angulaire — la texture statistique d'une image unique du ciel, prise à une époque figée (le découplage, $z \approx 1089$). La valeur de H_0 n'est pas lue directement : elle est **calculée** en résolvant

$$\theta_* = \frac{r_s(z_*)}{D_A(z_*)}, \quad D_A(z_*) = \frac{c}{1+z_*} \int_0^{z_*} \frac{dz}{H(z)}$$

Autrement dit, pour extraire H_0 des données de Planck, il faut **intégrer une forme précise de $H(z)$ sur tout l'intervalle $[0, 1089]$** . Cette forme — celle de Λ CDM, avec matière et constante cosmologique — est une hypothèse du calcul, pas une observation.

Voilà le point de départ de cette note : **si l'on change la forme de $H(z)$ utilisée dans ce calcul, on change la valeur de H_0 qu'on en extrait**. SH0ES, lui, resterait presque inchangé, puisqu'il ne dépend quasiment pas de cette forme.

3. Un autre $H(z)$: le postulat $R_h=ct$

Fulvio Melia (2007) a proposé un cadre cosmologique alternatif à Λ CDM, où le rayon de Hubble croît **linéairement** avec le temps cosmique :

$$R_H(t) = ct \text{ à toute époque } t \text{ — pas seulement aujourd'hui}$$

Cette condition impose un facteur d'échelle $a(t) \propto t$ (au lieu de la courbe complexe de Λ CDM), et deux conséquences directes :

$$t(z) = \frac{t_0}{1+z} \quad H(z) = H_0(1+z)$$

$\propto$ signifie proportionnel.

C'est une loi radicalement plus simple que celle de Λ CDM. Elle n'est pas neuve : sa structure mathématique remonte au modèle de Milne (1932), et elle a passé, selon Melia, une vingtaine de tests observationnels indépendants — avec des résultats parfois meilleurs, parfois moins bons que Λ CDM selon les jeux de données.

4. La profondeur de mesure $D(z)$

Sous ce cadre, une seule grandeur porte trois noms :

$$D(z) \equiv R_H(z) \equiv c \cdot t(z) \equiv \frac{c}{H(z)}$$

C'est le **rayon de Hubble à l'époque z** — la « coquille » (shell) que sonde une mesure faite à ce redshift. Avec $H(z)=H_0(1+z)$:

$$D(z) = \frac{D(0)}{1+z}, \quad D(0) = \frac{c}{H_0}$$

Deux régimes se distinguent naturellement :

- **R_H,dom** $\equiv D(0)$ — la coquille dominante, au présent ($z=0$)
- **R_H,sub** $\equiv D(z_{\text{eff}})$ — une coquille sub-dominante, plus profonde, plus petite

C'est là l'hypothèse centrale de cette note, formulée simplement : **et si SH0ES et Planck ne mesureraient pas la même chose parce qu'ils sondent, chacun, une coquille R_H différente d'une seule et même histoire cosmique ?**

5. Le calcul

Si les deux valeurs rapportées sont interprétées comme $H(z_S)$ et $H(z_P)$ pour deux profondeurs différentes d'une cosmologie unique H_0 , vrai :

$$\frac{H_{SH0ES}}{H_{Planck}} = \frac{1+z_S}{1+z_P} = \frac{73,04}{67,4} = 1,0837$$

En fixant $z_P = 0$ (Planck sonde la coquille dominante) :

$$z_S = 0,0837$$

Traduit en rayon de Hubble physique :

z	D(z) (Mpc)	D(z)/D(0)
0 (Planck)	4448	100 %
0,0837 (requis)	4105	92,3 %
0,15 (borne haute échantillon SH0ES)	3868	87,0 %

Constat frappant : la profondeur requise pour réconcilier les deux mesures ($z=0,084$) tombe précisément dans la fourchette de redshift de l'échantillon utilisé par SH0ES lui-même (0,023 à 0,15, avec $\langle z \rangle = 0,055$ dans l'analyse de Riess et al.). Ce n'est pas un chiffre arbitraire — il se situe exactement là où l'on s'attendrait à ce qu'il tombe si l'intuition était correcte.

6. Ce que ce calcul explique — et ce qu'il n'explique pas encore

Il faut être honnête sur la portée de ce résultat, car c'est précisément ici que la plupart des explications « alternatives » de la tension de Hubble échouent à convaincre.

Ce qui a été fait

Un unique paramètre libre (z_{eff}) a été **ajusté** pour reproduire un unique rapport observé (73,04/67,4). Par construction, cet ajustement réussit toujours — quel que soit l'écart à expliquer, il existe toujours un z_{eff} qui le reproduit exactement. Ce n'est donc pas, en soi, une preuve de quoi que ce soit.

Ce qui rend le résultat *intéressant* malgré tout

Le z_{eff} obtenu n'est pas n'importe quelle valeur : il tombe naturellement dans la plage physique pertinente (l'échantillon réel de SH0ES), sans avoir été forcé à y tomber. C'est un accord d'ordre de grandeur non trivial — le genre de coïncidence qui mérite d'être creusée, pas ignorée.

Ce qui manque pour que ce soit une véritable explication

Il faudrait un mécanisme qui **prédise** z_{eff} *avant* de connaître le rapport 73,04/67,4 — pas un paramètre recalé après coup. Deux pistes se distinguent :

1. **Refaire l'ajustement du spectre de puissance CMB brut** en substituant $H(z)=H_0(1+z)$ à la forme Λ CDM dans le calcul de $D_A(z^*)$. C'est la seule voie rigoureuse pour Planck : puisque sa valeur de H_0 dépend explicitement de la forme de $H(z)$ intégrée sur $[0, 1089]$, changer cette forme changerait potentiellement la valeur extraite — sans qu'aucun ajustement manuel de « profondeur » soit nécessaire. Ce calcul n'a pas été fait ici ; il dépasse le cadre de cette note et exigerait de retraiter les données brutes de Planck.
2. **Tester une troisième détermination indépendante de H_0** — lentilles gravitationnelles à retard temporel, sirènes standards en ondes gravitationnelles, méthode TRGB — et vérifier si sa profondeur effective z_{eff} , prédite *avant* de connaître son résultat, tombe où le cadre $R_{H,\text{sub}}$ l'exige. C'est le test décisif qui manque.

Sans l'un ou l'autre, $R_{H,\text{sub}}$ reste une reformulation cohérente et suggestive du problème, pas sa résolution.

7. Conclusion : triviale ou pas ?

La réponse honnête est : **on ne sait pas encore** — et c'est précisément ce qui rend la question *intéressante*.

Ce qu'on peut affirmer :

- La structure $D(z)=R_H(z)=c/H(z)$ est mathématiquement propre et sans ambiguïté sous le postulat $R_H=ct$.

- Le déséquilibre méthodologique entre SH0ES (quasi model-independent) et Planck (fortement dépendant de la forme de $H(z)$ intégrée) est réel et documenté — ce n'est pas une invention de cette note.
- L'accord numérique obtenu (z_{eff} dans la fourchette de l'échantillon SH0ES) est suggestif, pas démonstratif.

Ce qu'on ne peut pas encore affirmer :

- Que ce mécanisme *prédit* réellement, plutôt qu'il ne *reproduit après coup*, l'écart observé.
- Que refaire l'analyse CMB sous $H(z)=H_0(1+z)$ donnerait effectivement une valeur proche de 73 plutôt que de rester proche de 67.

La tension de Hubble n'est peut-être pas triviale. Mais la question de savoir si deux mesures de H_0 sondent réellement la même « profondeur » cosmologique — plutôt que d'être silencieusement supposées le faire — mérite d'être posée avant d'invoquer une nouvelle physique. C'est là, modestement, la seule chose que cette note prétend établir.

Cette note s'inscrit dans une démarche exploratoire et n'a pas la prétention de clore le débat. Les calculs présentés sont reproductibles à partir des valeurs publiées par Riess et al. (2022) et Aghanim et al. (2020, Planck Collaboration).