Application numérique hypothétique : rebond “stellaire” (RGH – déclenchement Weyl, régularisation symplectique)

Lolo (avec assistance IA pour la mise en forme)

6 février 2026

Résumé

Ce document est un *exercice numérique* : on explore, de façon volontairement hypothétique, ce que donnerait un rebond cosmologique à densité critique “astrophysique” (par exemple stellaire), dans un cadre inspiré de la RGH où le rebond est *déclenché* par un seuil Weyl (champ d'échelle Φ_μ) et *régularisé* par une structure interne symplectique (ω, J). On sépare clairement hypothèses, modèle effectif et résultats chiffrés, afin d'éviter les confusions d'interprétation (liées notamment à la notion de “rayon de l'univers observable”).

1 Hypothèses (assumées)

On adopte les conventions suivantes, uniquement pour fixer les ordres de grandeur :

1. **Cosmologie homogène/isotrope** : métrique FLRW plate pour le *fond* (pas pour les structures liées).
2. **Weyl intégrable en FLRW** : $\Phi_\mu dx^\mu = \Phi_0(t)\, dt$ (donc $F_{\mu\nu} = d\Phi = 0$ au fond).
3. **Déclencheur Weyl (Option II)** : identification “seuil Weyl $\leftrightarrow$ densité critique effective”

$$\boxed{\frac{\Phi_0^2}{\Phi_\star^2} = \frac{\rho}{\rho_\star}} \tag{1}$$

   où $\rho_\star$ est la densité critique de rebond (effective) et $\Phi_\star$ l'échelle critique Weyl.
4. **Dynamique effective de rebond** :

$$\boxed{H^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho\left(1 - \frac{\rho}{\rho_\star}\right)} \tag{2}$$

   (lecture : le seuil fondamental est Weyl ; la forme en ρ est une réécriture pratique).
5. **Contenu dominant au rebond** : on illustre surtout le cas *radiation* $w = \frac{1}{3}$ (le plus standard au très jeune âge), mais on rappelle les formules générales en w.
6. **Échelle actuelle “R_0”** : on prend une *échelle physique* de référence $R_0 = 96$ milliards d'années-lumière (Gly), uniquement comme facteur multiplicatif. Ce n'est **pas** une “bille” matérielle : c'est une distance associée à un choix de volume comobile.

Rôle de (ω, J) (régularisation). On ne spécifie pas ici une action complète : on suppose seulement que la structure symplectique interne (ω, J) assure la stabilité (pas de ghost/gradient) et fournit un mécanisme de *saturation* qui rend $\Phi_\star$ fini (ex. régularisation de type Born–Infeld sur un invariant interne positif).

2 Formules utiles

2.1 Évolution en facteur d'échelle

Si $p = w\rho$ et conservation standard du fluide ($\dot{\rho} + 3H(\rho + p) = 0$), alors

$$\rho(a) = \rho_0 \, a^{-3(1+w)}. \tag{3}$$

Le rebond se produit lorsque $\rho = \rho_\star$, donc

$$\boxed{\frac{a_b}{a_0} = \left(\frac{\rho_0}{\rho_\star}\right)^{\frac{1}{3(1+w)}}}. \tag{4}$$

2.2 Cas radiation ($w = \frac{1}{3}$)

Alors

$$\boxed{\frac{a_b}{a_0} = \left(\frac{\rho_{\rm rad,0}}{\rho_\star}\right)^{1/4}}, \qquad \boxed{R_b = R_0 \left(\frac{\rho_{\rm rad,0}}{\rho_\star}\right)^{1/4}}. \tag{5}$$

On utilise pour ordre de grandeur :

$$\rho_{\rm rad,0} \simeq 4.6 \times 10^{-31} \ \mathrm{kg\,m^{-3}} \tag{6}$$

(photons + neutrinos : valeur indicative).

2.3 Température (si radiation thermique)

Si l'on interprète la densité massique ρ comme une densité d'énergie $u = \rho c^2$ dominée par radiation thermique,

$$u = \frac{\pi^2}{30} g_\star \frac{(k_B T)^4}{\hbar^3 c^3} \quad \Rightarrow \quad \boxed{T = \left(\frac{30}{\pi^2 g_\star} \frac{\hbar^3 c^5}{k_B^4} \rho\right)^{1/4}}. \tag{7}$$

Le facteur $g_\star$ (degrés relativistes effectifs) est incertain au rebond ; on donne deux valeurs illustratives ($g_\star = 10$ et 100).

3 Application numérique : "rebond stellaire" et comparaisons

On fixe $R_0 = 96$ Gly et on calcule, dans l'hypothèse radiation au rebond,

$$\frac{a_b}{a_0} = \left(\frac{\rho_{\rm rad,0}}{\rho_\star}\right)^{1/4}, \qquad R_b = R_0 \left(\frac{\rho_{\rm rad,0}}{\rho_\star}\right)^{1/4}.$$

TABLE 1 – Ordres de grandeur (hypothèse radiation). $R_0 = 96$ Gly, $\rho_{\rm rad,0} \simeq 4.6 \times 10^{-31}$ $\mathrm{kg\,m^{-3}}$.

Scénario	$\rho_\star$ ($\mathrm{kg\,m^{-3}}$)	a_b/a_0	R_b (m)	R_b (a. l.)
Stellaire	10^6	8.24×10^{-10}	7.48×10^{17}	≈ 79
Nucléaire	10^{18}	8.24×10^{-13}	7.48×10^{14}	$\approx 7.9 \times 10^{-2}$
Très élevé	10^{30}	8.24×10^{-16}	7.48×10^{11}	$\approx 7.9 \times 10^{-5}$
Planck	5.15×10^{96}	1.73×10^{-32}	1.57×10^{-5}	$\approx 1.7 \times 10^{-21}$

Températures associées (illustratives). Pour ces mêmes densités, l'estimation radiative donne :

Scénario	T_b (K) pour $g_\star = 100$	T_b (K) pour $g_\star = 10$
Stellaire (10^6)	1.24×10^9	2.21×10^9
Nucléaire (10^{18})	1.24×10^{12}	2.21×10^{12}
Très élevé (10^{30})	1.24×10^{15}	2.21×10^{15}
Planck (5.15×10^{96})	5.92×10^{31}	1.05×10^{32}

4 Interprétation (ce que ça dit / ce que ça ne dit pas)

4.1 Ce que ces chiffres signifient

Ils donnent l'échelle physique associée à *un même volume comobile* si l'on normalise aujourd'hui à $R_0 = 96$ Gly et si l'on suppose une phase dominée par radiation au rebond.

4.2 Ce que ces chiffres *ne* signifient pas

— Ce n'est pas une preuve qu'un rebond stellaire préserve automatiquement des étoiles/galaxies.
— Le "rayon de l'univers observable" n'est pas un objet matériel : la notion d'horizon implique une intégrale sur $1/a(t)$.
— La survie des structures dépend de la durée de contraction, du chauffage radiatif, des anisotropies (cisaillement), etc.

5 Survie des structures : critère d'ordre de grandeur

Un critère minimal (très grossier) pour qu'un système lié ne soit pas déstructuré par l'expansion/contraction du fond est :

$$\boxed{|H| \ll \tau_{\text{bind}}^{-1}} \tag{8}$$

où τ_{bind} est un temps dynamique interne (galaxie : $\sim 10^8$ ans ; étoile : minutes–heures). Dans le modèle rebond $H^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho(1 - \rho/\rho_\star)$, on a $H = 0$ au rebond et un H borné, mais le *chauffage radiatif* durant la contraction peut rester déterminant.

6 Annexe : autres hypothèses possibles (à explorer ensuite)

Ce document privilégie l'Option II (seuil Weyl $\Rightarrow$ densité critique effective). D'autres choix sont possibles :

1. Seuil sur $F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}$ plutôt que sur $\Phi_\mu\Phi^\mu$ (Weyl non intégrable).
2. Seuil sur un invariant de courbure (R ou Kretschmann K) contrôlé par le secteur RGH.
3. Seuil mixte unique $\mathcal{I} = \alpha\Phi^2 + \beta\|\omega\|^2$ (un seul seuil, deux secteurs).
4. Rebonds par domaines (inhomogènes) : le rebond concerne le fond, pas nécessairement les objets liés.

Note. Les chiffres sont indicatifs et destinés à guider l'intuition ; ils n'engagent pas une validation observationnelle.