Application numérique : rebond par NEC effective contrôlée

(modèle jouet : composante “négative stiff” régularisée)

Lolo (avec assistance IA pour la mise en forme)

6 février 2026

Résumé

On construit une application numérique minimale d'un rebond obtenu par *violation NEC effective contrôlée* ($\rho_{\text{eff}} + p_{\text{eff}} < 0$ dans une fenêtre autour du rebond), sans imposer directement un seuil de courbure. Le but est comparatif : produire des échelles a_b/a_0 et R_b très simplement, et identifier où la NEC est violée. Ce document sert de “gabarit” avant une implémentation RGH plus spécifique.

1 Idée (humaine)

Le rebond demande $H = 0$ au minimum puis une reprise en expansion. Dans un cadre FLRW standard, l'accélération $\dot{H}$ est reliée à $\rho + p$: si $\rho + p$ devient négatif, on peut rendre $\dot{H} > 0$ et déclencher un rebond. Ici, on modélise cela par une *composante effective* qui devient importante en contraction et qui contribue *négativement* à l'énergie.

2 Hypothèses (modèle jouet)

On prend deux contributions :

— une composante “positive” de type radiation : $\rho_r(a) = \rho_{r,0}\, a^{-4}$, $p_r = \rho_r/3$,

— une composante “effective négative” de type stiff : $\rho_s(a) = -\rho_{s,0}\, a^{-6}$, $p_s = \rho_s$.

Le signe “$-$” n'est pas de la matière exotique ordinaire : c'est un *effet* (régularisation / correction) censé être contrôlé par le secteur interne RGH (par ex. (ω, J)) afin d'éviter instabilités et divergences.

On définit le ratio :

$$r_0 \equiv \frac{\rho_{s,0}}{\rho_{r,0}} \quad \text{(avec } 0 < r_0 < 1 \text{ pour que l'énergie soit positive aujourd'hui).}$$

3 Condition de rebond

La densité effective vaut

$$\rho_{\text{eff}}(a) = \rho_r(a) + \rho_s(a) = \rho_{r,0} a^{-4} - \rho_{s,0} a^{-6}.$$

Le rebond (dans ce modèle) survient quand $H^2 \propto \rho_{\text{eff}}$ s'annule :

$$\rho_{r,0} a_b^{-4} - \rho_{s,0} a_b^{-6} = 0 \quad \Longrightarrow \quad \boxed{\frac{a_b}{a_0} = \sqrt{r_0}}.$$

Donc la “taille comobile normalisée” :

$$\boxed{R_b = R_0 \sqrt{r_0}}.$$

Avantage : une application numérique est immédiate : pas besoin de résoudre une équation non-linéaire.

4 NEC effective au rebond

On a :

$$\rho_{\text{eff}} + p_{\text{eff}} = (\rho_r + p_r) + (\rho_s + p_s) = \frac{4}{3}\rho_r + 2\rho_s.$$

Au rebond, $\rho_s = -\rho_r$, donc :

$$(\rho_{\text{eff}} + p_{\text{eff}})\big|_b = \left(\frac{4}{3} - 2\right)\rho_r = -\frac{2}{3}\rho_r < 0.$$

Conclusion : la NEC est bien violée (localement autour du rebond) dans ce modèle jouet, de manière contrôlée.

5 Normalisation numérique (comparatif)

Pour rester cohérent avec les autres docs :

$$\rho_{r,0} \equiv \rho_0 = 4.6 \times 10^{-31}\ \text{kg}\,\text{m}^{-3}, \qquad R_0 = 96\ \text{Gly} = 96 \times 10^9\ \text{a.l.}$$

Note : ρ_0 est une normalisation de comparaison ; si le secteur RGH "radiation-like" a une densité actuelle différente, remplacer ρ_0 par la valeur physique.

6 Résultats numériques : R_b en fonction de r_0

Table 1 – Dans ce modèle, $R_b = R_0\sqrt{r_0}$. On donne des ordres de grandeur utiles.

r_0	$a_b/a_0 = \sqrt{r_0}$	R_b (a.l.)
10^{-22}	10^{-11}	0.96
10^{-20}	10^{-10}	9.6
10^{-18}	10^{-9}	96
10^{-17}	3.16×10^{-9}	303
10^{-16}	10^{-8}	960

Lecture (et ton intuition "∼100 a.l."). Pour viser $R_b \sim 100$ a.l. avec $R_0 = 96$ Gly, il faut typiquement $r_0 \sim 10^{-18}$. Donc une composante stiff-like *aujourd'hui* dix-huit ordres de grandeur sous la composante radiation-like, mais qui domine automatiquement en contraction car elle croît comme a^{-6}.

Remarques (honnêteté & lien RGH)

- Ce modèle est un **gabarit** : il capture *le mécanisme* NEC contrôlée, mais pas une action microscopique.
- En RGH, on peut interpréter $\rho_s < 0$ comme une correction géométrique/symplectique (régularisation par (ω, J), Born–Infeld interne, terme hypercomplexe saturant, etc.).
- Le point dur (à traiter ensuite) : **stabilité** (pas de ghost/gradient) et compatibilité PPN/observables.
- Bonus humour : ici, l'univers fait un "frein à main" cosmique. ;)