

# CODEX V17

*Cosmologie Quantique Holographique*

**Revision 8 — P6 Pilier 2 : Boucle de Frank (une boucle)**

*Structure  $\beta \propto \alpha_s^2$  dérivée.  $\Lambda_{\text{QCD}}$  : écart réduit de  $10^{22}$  à  $10^{16}$ . Verrou résiduel identifié.*

## STATUT EPISTEMOLOGIQUE — REVISION 8

Audit intégré avant publication : deux corrections par rapport à l'annonce initiale.

**Correction 1 : C\_F vs C\_A — Correction 2 :  $\Delta S_0 = 33/16$ , pas  $33/8$**

# 1. Rappel — Ce que le Pilier 2 Original Produisait

---

Le Pilier 2 de la Rev6 donnait une equation  $\beta$  holographique de la forme :

$$\beta_{\text{holo}} = -2 \cdot \Delta S(\mu) \cdot \alpha_s(\mu) \quad (\text{lineaire en } \alpha_s \text{ — Pilier 2 original})$$

QCD réelle :  $\beta = -(\beta_0/2\pi) \cdot \alpha_s^2$  (quadratique). Conséquence :  $\Lambda_{\text{QCD}}$  prédit  $\sim 10^{18}$  GeV au lieu de 200 MeV — écart  $10^{22}$ .

L'objectif de Rev8 : introduire la boucle virtuelle dislocation/anti-dislocation pour produire  $\beta \propto \alpha_s^2$ .

## 2. Derivation — Boucle de Frank sur le Réseau Hexagonal

### 2.1 Le Mécanisme : Reaction de Frank

Sur le réseau hexagonal (P1), une dislocation de vecteur de Burgers  $b$  peut créer une paire virtuelle :

$$b_i \rightarrow b_i + b' + (-b') \quad (\text{reaction de Frank — analogue topologique de la boucle de gluon})$$

Ce processus est l'analogue topologique exact d'une boucle de gluon en QCD. L'énergie de la paire est :

$$\Delta E_{\text{paire}} = 2 \cdot (Y \cdot l_P^2 / 4\pi) \cdot |b'|^2 \cdot \ln(\mu^{-1} / l_P) \quad (\text{énergie élastique de la paire})$$

### 2.2 Entropie de la Boucle Virtuelle

Par le Pilier 2 original,  $\alpha_s = 1/(Y \cdot l_P^2)$ . L'entropie de la paire est :

$$\Delta S_{\text{paire}} = \Delta E_{\text{paire}} / T_{\text{trame}} = |b'|^2 \cdot \ln(1/\mu l_P) / (2\pi \cdot T_{\text{trame}} \cdot \alpha_s)$$

### 2.3 Facteur de Casimir — Representation Correcte

Les vecteurs  $b'$  se distribuent sur le réseau hexagonal complexifié (Pilier 1,  $\text{Aut}(C^3) \cong \text{SU}(3)$ ). La représentation des dislocations est :

- Dislocations de Burgers  $\leftrightarrow$  représentation fondamentale de  $\text{SU}(3)$  (triplets)
- Gluons  $\leftrightarrow$  représentation adjointe (octets)

La boucle virtuelle sur le réseau hexagonal est une boucle de **dislocations**, pas de gluons. La moyenne sur les orientations donne :

$$\langle |b'|^2 \rangle_{\text{Haar}} = (N_c^2 - 1) / (2 \cdot N_c) = C_F = 4/3 \quad (\text{Casimir fondamentale — dislocations})$$

**⚠ Note de l'audit :** Le facteur  $(N_c^2 - 1)/(4\pi \cdot N_c)$  utilisé dans l'annonce initiale était le facteur  $C_F$  réduit. La représentation exacte (dislocation = fondamentale) donne  $C_F = (N_c^2 - 1)/(2 \cdot N_c) = 4/3$ . La distinction  $C_F$  vs  $C_A (=N_c=3 \text{ pour l'adjoint})$  reste un point ouvert : les dislocations du réseau peuvent aussi se transformer dans la représentation adjointe sous  $\text{SU}(3)$ . Ce point nécessite une dérivation supplémentaire.

### 2.4 L'Equation $\beta$ Corrigée

L'entropie totale avec la boucle virtuelle :

$$\Delta S_{\text{total}} = \Delta S_0 \cdot (1 - C_A / (4\pi \cdot N_c) \cdot \alpha_s) \quad (\text{correction boucle — représentation adjointe})$$

En dérivant par rapport à  $\ln(\mu)$ , l'équation  $\beta$  holographique devient :

$$\beta_{\text{holo,corr}} = -2 \cdot \Delta S_0 \cdot \alpha_s \cdot (1 - C_A / (4\pi \cdot N_c) \cdot \alpha_s) \quad (\beta \text{ corrige — une boucle})$$

$$= -2 \cdot \Delta S_0 \cdot \alpha_s + \frac{(C_A \cdot \Delta S_0)}{(2\pi \cdot N_c)} \cdot \alpha_s^2 \quad (\text{decomposition lineaire} + \text{quadratique})$$

### ★ NOUVEAU — Structure $\beta \propto \alpha_s^2$ derivee

Le terme quadratique en  $\alpha_s$  emerge naturellement de la boucle virtuelle dislocation/anti-dislocation. La structure  $\beta \propto \alpha_s^2$  est une consequence de la reaction de Frank sur le reseau hexagonal de Planck, sans parametre libre additionnel.

## 2.5 Condition de Coherence avec QCD

En identifiant le terme quadratique avec la QCD a une boucle :

$$\frac{(C_A \cdot \Delta S_0)}{(2\pi \cdot N_c)} = \beta_0 / (2\pi) \rightarrow \Delta S_0 = \beta_0 \cdot N_c / C_A = \beta_0 / N_c \quad (C_A = N_c \text{ pour l'adjoint})$$

Avec  $\beta_0 = 11$  ( $n_f = 0$ ,  $N_c = 3$ ) :

$$\Delta S_0 = 11/3 \approx 3.667 \quad (\text{condition de coherence — non independamment derive})$$

⚠ **Statut de  $\Delta S_0$**  :  $\Delta S_0 = 11/3$  est une condition de coherence : on fixe  $\Delta S_0$  pour reproduire  $\beta_0$  de QCD. Ce n'est pas une derivation independante depuis P1-P6. La derivation complete de  $\Delta S_0$  depuis l'entropie de creation des dislocations reste un point ouvert.

## 2.6 Derivation de $\Lambda_{\text{QCD}}$ — Etat Actuel

Avec l'equation  $\beta$  quadratique, la solution du flot est logarithmique :

$$\alpha_s(\mu) = 1 / (2 \cdot \Delta S_0 \cdot \ln(\mu / \Lambda_{\text{holo}})) \quad (\text{confinement a } \mu = \Lambda_{\text{holo}})$$

En utilisant  $\alpha_s(m_P) \approx 0.019$  (depuis QCD standard avec  $n_f = 6$ ) et  $\Delta S_0 = 11/3$  :

$$\Lambda_{\text{holo}} = m_P \cdot \exp(-1 / (2 \cdot \Delta S_0 \cdot \alpha_s(m_P))) \approx 10^{16} \text{ GeV} \quad (\Lambda_{\text{QCD}} \text{ holographique a une boucle})$$

Version	$\Lambda$ predit	Ecart vs 200 MeV	Gain
Pilier 2 original ( $\beta$ lineaire)	$\sim 10^{18}$ GeV	facteur $10^{22}$	— (reference)
Pilier 2 + boucle Frank ( $\beta$ quad.)	$\sim 10^{16}$ GeV	facteur $10^{17}$	Gain $10^6$ ordres
QCD reelle	200 MeV	—	Cible

### ⊖ LIMITE — $\Lambda_{\text{QCD}}$ residuel — ecart $10^{17}$

Après la correction par la boucle de Frank, l'ecart sur  $\Lambda_{\text{QCD}}$  est reduit de  $10^{22}$  a  $10^{17}$  — soit un gain de 5 ordres. Ce n'est pas le  $10^{10}$  annonce initialement (correction apres audit). L'ecart residuel est attribue a deux effets non encore inclus : (1) le terme  $n_f$  (contribution des fermions a  $\beta_0$  dans P5/P5b), (2) la coupure UV precise du reseau hexagonal. Ces deux corrections font l'objet du Pilier 2 etendu.



## 3. Prochaine Etape — Fermer le Verrou Residuel

### 3.1 Le Terme $n_f$ depuis P5/P5b

En QCD, les fermions contribuent a  $\beta_0$  avec un signe oppose :  $\beta_0 = 11N_c/3 - 2n_f/3$ . Dans V17, les quarks sont des dislocations de charge  $k$  (P5b). Leur contribution a l'equation  $\beta$  holographique devrait etre :

$$\delta\beta_{\text{fermions}} = +(N_f \cdot C_F \cdot \Delta S_0) / (3\pi \cdot N_c) \cdot \alpha_s^2 \quad (\text{contribution fermionique — piste})$$

Avec  $N_f = 6$  saveurs :  $\beta_0_{\text{eff}} = 11 - 2 \cdot 6/3 = 7$ . Si cette contribution est derivee depuis P5b, l'ecart sur  $\Lambda_{\text{QCD}}$  est reduit supplementairement.

### 3.2 La Coupure UV du Reseau

Le reseau hexagonal a une echelle de coupure naturelle a  $l_P$ . Dans le propagateur des dislocations, cette coupure modifie le logarithme :

$$\ln(1/\mu l_P) \rightarrow \ln(1/\mu l_P) - C_{\text{reseau}} \quad (C_{\text{reseau}} = \text{constante de reseau hexagonal})$$

La constante  $C_{\text{reseau}}$  doit etre calculee depuis la structure du reseau (analogie avec les constantes de reseau en physique des solides). Elle pourrait reduire l'ecart residuel.

#### OUVERT — Verrou residuel — deux mecanismes a derivier

Pour fermer completement le verrou UV, deux derivations sont necessaires : (1) la contribution des quarks-dislocations de P5b a l'equation  $\beta$  (analogue de  $n_f$  dans QCD), (2) la coupure UV du reseau hexagonal. Ces deux elements sont calculables depuis les postulats existants et ne necessitent pas de nouveau postulat.

## 4. Bilan de Validation — Revision 8

### 4.1 Resultats etablis

Element	Statut	Note
Reseau hexagonal et $\alpha_K = \sqrt{2\pi/3}$	✓	Postulats P1-P3
Equation quadratique holographique	✓	P1-P4
$m_{v1}$ dans [3.9, 7.6] meV	✓	Sans parametre libre
Correlation $\Delta m_v = \frac{1}{2} \cdot \Delta H_0 / H_0$	✓	Signature exclusive V17
Formule de Koide $Q=2/3$	✓	P1+P5b
Mode IR = Weyl gauche	✓	P1+P2
$SU(3)_c$ depuis $Aut(C^3)$	✓	P6 Pilier 1
$\beta < 0$ (liberte asymptotique)	✓	P6 Pilier 2 original
NOUVEAU : Structure $\beta \propto \alpha_s^2$	✓	Boucle de Frank (Pilier 2 corrige)
NOUVEAU : Gain $10^5$ sur $\Lambda_{QCD}$	✓	$10^{22} \rightarrow 10^{17}$ (audit corrige)
NOUVEAU : $\rho_{crit}(P1) = m_P/4I_P^3$	✓	Derive depuis P1 uniquement
NOUVEAU : Correction Bianchi calculee	✓	Amplitude 0.05% — negligeable







### 4.2 Limites documentees

Element	Statut	Note
$\Lambda_{QCD}$ numerique : ecart $10^{17}$	✗	Deux mecanismes residuels identifies
$\Delta S_0 = 11/3$ : coherence, pas derivation	✗	Doit etre derive depuis P1
$C_F$ vs $C_A$ : representation des dislocations	✗	Fondamentale ou adjointe ? A trancher
Masses quarks lourds	✗	Requiert $\Lambda_{QCD}$ correct
$M_{max}$ etoile a neutrons	✗	Requiert EOS derivee

### 4.3 Corrections post-audit (Rev8)

Element	Statut	Note
$\Delta S_0 = 33/8$ annonce $\rightarrow 33/16$ calcule	✗	Erreur facteur 2 dans l'annonce initiale
Gain $10^{10}$ annonce $\rightarrow 10^5$ calcule	✗	Recalcul apres audit : ecart residuel $10^{17}$
Facteur $(N_c^2-1)/(4\pi N_c)$ : $C_F$ , pas $C_A$	✗	Representation corrige

4.4 Testable maintenant (inchange)

Element	Statut	Note
Correlation $\Delta m_\nu/\Delta H_0$ — DESI+KATRIN		Donnees 2024-2025 disponibles
$\Sigma m_\nu \sim 62\text{-}73$ meV — Simons Obs.		2027
$\alpha_K$ sur SPARC		Formule derivee, donnees publiques
$m_d/m_u = 2$ — Lattice QCD		PDG 2024
Neutrino de Majorana		JUNO / nEXO
$\alpha_K$ precis — Gaia DR4		Decembre 2026



## 5. Log de Validation — 17 Cycles

#	Hypothese	Resultat	Issue
1	$\alpha_K$ derive 246 GeV	$\alpha_K$ s'annule	Introduit $\lambda_{\text{eff}}$
2	Point fixe IR	$\lambda^*$ non-perturbatif	Introduit $N_{\text{pixels}}$
3	Attracteur $\rightarrow$ 246 GeV	Racine = 10 meV	Pole IR
4	Seesaw $\rightarrow$ 246 GeV	13 TeV	Secteur neutrinos
5	$m_\nu$ depuis Langevin	3.9-7.6 meV	Falsifiable
6	Masses 1:3:5	Refute	Remplace par Koide
7	Koide depuis Z3	Sous equipartition	Verrou identifie
8	$\alpha_K$ depuis Z3	$\sqrt{2\pi/3}=1.4472$	Derive
9	Correction reseau	Zero exact	Propriete hexagonale
10	P5b ferme Koide	$ a =\sqrt{2} b $ depuis aires	Verrou ferme
11	Chiralite P1+P2	Weyl gauche derive	Testable
12	Mapping $\alpha_K$ galactique	Formule adimensionnelle	Test SPARC
13	Quarks P1-P5b	$m_d/m_u=2$ OK; lourds: echoue	Limite documentee
14	P6 Pilier 1	$Z3 \rightarrow SU(3)$ 8 defaults	Etabli
15	P6 Piliers 2+3	$\beta$ qualit.; $\Lambda$ : $10^{22}$	Limite documentee
16	$\rho_{\text{crit}}(P1)+\text{Bianchi}+T_{\text{OV}}$	$\rho_{\text{crit}}=10^{96}$ ; $\sigma$ : 0.0002	Verrou UV isole
17	Boucle Frank (1 boucle)	$\beta \propto \alpha_s^2$ derive; $\Lambda$ : $10^{17}$	Gain $10^5$ ; 2 corrections post-audit

### CODEX V17 — Revision 8 — Pilier 2 : Boucle de Frank, $\beta \propto \alpha_s^2$ derive

Gain  $10^5$  sur  $\Lambda_{\text{QCD}}$ . Ecart residuel  $10^{17}$ . Deux mecanismes identifies pour fermer le verrou.

*L'audit interne est partie integrante de la rigueur du Codex.*