

Théorie de l'Intersection des Champs

Exposé structuré

Luc Côté

Chercheur indépendant — Québec, Canada

Version 1 — 29 août 2026

Un cadre où les masses, les charges et les constantes ne sont pas des paramètres, mais des conséquences d'une géométrie d'interface — exposé par la logique, avec le statut de chaque affirmation en clair.

0. Comment lire ce document

Ce document est une exposition, pas un journal : il est organisé par la logique du cadre, non par l'histoire de sa construction (un journal de recherche interne, avec ses impasses et ses rectifications datées, fonde chaque affirmation présentée ici, mais n'est pas nécessaire à sa lecture : tout ce qui est requis pour comprendre et vérifier se trouve dans le présent document). Personne ne lit un tel document en entier : la table des phénomènes de la section 1 est votre porte d'entrée — chaque ligne renvoie à une section autonome, lisible seule.

Chaque affirmation porte l'un de quatre statuts, et l'honnêteté de ces étiquettes est le système même du cadre :

DÉRIVÉ — obtenu des principes du cadre par un calcul reproductible, sans calage sur la valeur mesurée. Les dérivations reproductibles sont en annexe, chacune avec sa vérification d'unités.

MESURÉ-DÉCLARÉ — une valeur expérimentale utilisée comme entrée, déclarée comme telle (le cadre en minimise le nombre; son ancre dimensionnelle est la densité d'énergie du vide, et la tension y est ramenée par la gravité).

SCELLÉ — un résultat conditionnel, gravé avec ses réserves explicites, en attente d'une dérivation ou d'une donnée.

DETTE — ce qui n'est pas dérivé, nommé et daté. Le registre complet des dettes est la section 13.

Règle de non-emprunt : le cadre s'interdit d'importer des formules externes dans ses dérivations (aucune longueur définie par une masse importée, aucun calage sur une cible) ; ses seules briques sont ses primitifs et ce qui en découle. Cette règle est vérifiable dans chaque annexe de calcul.

Les mathématiques sont dans ce document, non renvoyées ailleurs. Les formules apparaissent au fil du texte, mises en évidence sur leur propre ligne, et chaque résultat dérivé est démontré en entier dans une annexe de calcul (annexes A à Q), avec sa vérification d'unités — de sorte qu'on peut refaire le calcul sans aucune source extérieure. Enfin, un glossaire des symboles (annexe R) définit chaque grandeur et chaque notation du cadre — son nom, son sens physique, ses unités — pour que le lecteur n'ait jamais à deviner une notation.

Ce cadre à de rares acquis

Avant les tables, voici ce qui distingue vraiment ce cadre : des résultats que la plupart des théories POSENT, et qu'il DÉRIVE. Chacun est démontré en entier dans l'annexe indiquée.

Trois ancrés. Tout le cadre repose sur trois ancrés et sur la géométrie : la densité d'énergie du vide ρ_Λ (l'ancre cosmique : la gravité, les constantes et le seuil galactique en découlent), la densité de la matière au plafond ρ_{nuc} (l'ancre de la matière, fixée de l'intérieur par un seul compte mesuré, la densité de saturation), et la tension σ — dont la valeur numérique est aujourd'hui lue sur la gravité, de sorte que G est dans l'entrée de tout ce qui passe par elle (la table 1.3 le dit ligne par ligne). L'écart entre les deux bornes d'échelle porte la constante de structure fine, et leur milieu l'énergie faible. Là où le Modèle Standard porte quelque dix-neuf paramètres libres et MOND en pose un, ce cadre en a trois, et ce sont des propriétés des champs — plus, secteur par secteur, une constante déclarée.

a_0 dérivé — les courbes de rotation sans matière noire. L'échelle d'accélération des galaxies, que MOND pose à la main, est ici tirée de l'ancre : $a_0 = (5/48) \cdot c^2 \cdot k = 1,203 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$, à 0,3 % de la mesure. Personne, ailleurs, ne dérive a_0 . (Annexe F)

L'angle de mélange dérivé. $\sin^2 \theta_W = 3/8$, la valeur canonique d'unification, se calcule sur le contenu en charges d'une génération — que le Modèle Standard, lui, mesure. (annexe C ; ce que ce calcul suppose est dit en S.6)

Trois couleurs, trois générations — comptées, non postulées. $N_c = 3$ et $N_{\text{gen}} = 3$ sortent de la structure, avec en prime la règle « fractionnaire $\leftrightarrow$ coloré » qui explique pourquoi les quarks sont colorés et les leptons non. (Annexe I)

Le running de α sans particules virtuelles. La pente $2/3\pi$, que la QED obtient par des paires virtuelles surgissant du vide, est ici dérivée du spectre propre du cadre — une route native, sans particules virtuelles. (Annexe B)

Le théorème spin-statistique, démontré. Que le spin demi-entier IMPOSE la statistique fermionique — un postulat partout ailleurs — est ici démontré, par deux routes topologiques indépendantes qui convergent. (Annexe B)

La conservation de l'information des trous noirs. Sans singularité (un plancher de courbure fini) et sans horizon (l'espace-temps émergent s'achève au plafond de tension), le paradoxe de l'information ne se pose pas — trois absences dérivées d'un seul fait.

La lumière dérivée. Le photon n'est pas posé : sa nature composite, ses deux polarisations et sa masse nulle tombent de la géométrie de l'interface. (Annexe A)

Aucun de ces résultats n'est un ajustement : chacun se calcule dans son annexe, avec sa vérification, et le cadre nomme honnêtement, en regard, ce qui lui reste dû.

1. Les résultats en bref

1.1 La table des phénomènes — votre porte d'entrée

Chaque objet familier de la physique, où le cadre le raconte, et son statut en un mot.

Phénomène	Ce que le cadre en dit	Statut	§
Le photon	La lumière : la rotation du repère interne des trois champs le long de l'interface ; son écrantage (le running de α) dérivé	<i>Dérivé</i>	7
L'électron	Une résonance causée par le nucléon ; signe de charge, spin $\frac{1}{2}$ et statistique dérivés ; sa masse : cible non atteinte	<i>Dérivé / Dette</i>	7, 9
Le muon, le tau	L'escalier des générations ; les masses leptoniques : la relation de Koide est dérivée sous l'identité dilatation-enroulement (un tour de phase = un pas d'échelle ; le tau prédit depuis e et μ) ; l'échelle absolue est fixée par une mesure, comme toute théorie	<i>Rapports dérivés (Koide, sous l'identité) ; échelle mesurée</i>	9
Le neutrino	Le neutrino est sa propre antiparticule (Majorana) : sans charge à inverser, « anti » n'est que l'autre chiralité du même objet. Structurel, sans hypothèse nouvelle — et falsifiable (la double désintégration bêta sans neutrino)	<i>Dérivé / Prédiction</i>	9
Le nucléon	La matière à saturation : l'interface pleine à l'échelle nucléaire (les trois champs engagés), confinée donc étendue (~ 1 fm, la couleur qu'agrippe le potentiel confinant), portant la charge d'inertie pleine. Le rapport de masse 1836 : encadré, non dérivé	<i>Structure dérivée / 1836 encadré</i>	9
Les étoiles à neutrons	Le même mécanisme que le nucléon, à l'échelle astrophysique : de la matière saturée, remplie	<i>Dérivé (structure)</i>	9

	jusqu'à son plafond de tension. Nucléon et étoile à neutrons sont le même objet — l'interface à son maximum — vu à deux étages de la cascade ; ni exotique, ni singulier		
Les quarks	Les charges en tiers, les trois couleurs ET la règle « fractionnaire = coloré » dérivées	<i>Dérivé</i>	8
Les gluons	Non des états, mais des transitions entre champs (couleur + anticouleur). $3 \times 3 = 9$ passages moins celui qui ne change rien = 8 gluons ; leur couplage — le vertex à trois gluons — tombe du commutateur de deux transitions	<i>Dérivé</i>	8
Les trois forces	Les trois forces (électromagnétique, faible, forte) unifiées par une règle commune : même origine (les trois structures d'un repère), même poids $\frac{1}{2}$ à la naissance, même loi de variation (le compte des sources présentes, S27, avec le porteur $(11/3) \cdot C_A$ — prédictions au Z depuis les ancres : $1/\alpha - 0,8 \%$, $\alpha_s + 2 \%$, $\sin^2 \theta_W - 1 \%$; trois rendez-vous d'une naissance en descente, non un point	<i>Dérivé</i>	8
La force forte	La force forte se renforce avec la distance, l'inverse de l'électromagnétisme (la liberté asymptotique, Nobel 2004) : l'auto-interaction du porteur (le 11) l'emporte sur l'écran du contenu (le 4). Le cadre dérive le sens et les deux nombres — $b_0 = 11 - 4 = 7$, le coefficient mesuré de la chromodynamique.	<i>Dérivé</i>	8
La force électromagnétique	La phase (le singulet) : le photon dérivé (deux polarisations, masse nulle), la constante α	<i>Dérivé</i>	7, 8

	dérivée (0,3 %), le running dérivé (une part par enroulement chargé présent : $1/\alpha$ au Z à -0,8 % depuis le bas), la charge comme appartenance de face		
La force faible	Les faces (su(2) dérivé) : le changement de face d'un enroulement ; l'angle 3/8 dérivé ; l'échelle chiffrée au plan médian (1,1 %, candidat fort) ; les pentes produites par S27 ; l'interaction proton-neutron et la désintégration bêta, un même geste ; la chiralité candidate	<i>Dérivé (structure, angle) / Candidat fort (échelle)</i>	8
Le confinement	Pourquoi on n'observe jamais un quark ni un gluon libre : la raideur sans terme de rappel donne un potentiel linéaire $E(r) = T_{\text{rappel}} \cdot r$, dont le coût croît sans borne — la couleur reste enfermée — la forme (linéaire) dérivée ; la force de rappel des champs chiffrée par un compte de champs : 924 MeV/fm contre 890–980 mesuré — candidat fort (voir « le rappel des champs »)	<i>Dérivé</i>	8
La constante α	La constante de structure fine : $\alpha^{-1} = 137,44$, depuis la tour et l'angle du cercle des générations ; aucune entrée mesurée sous la conjecture de la fluctuation de point zéro — un point fixe (voir S.5)	<i>Point fixe sous conjecture — candidat fort (0,3 %)</i>	7
La gravité, les galaxies	Les courbes de rotation plates, sans matière noire : sous une accélération critique dérivée ($a_0 = 1,20 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$, à 0,3 % de la mesure), la gravité s'écarte du newtonien et la vitesse plafonne. Le mécanisme (interférence de l'intermittence de présence, §3.7bis) reproduit les galaxies ; les	<i>Candidat : galaxies dérivées, amas en déficit</i>	11

	amas restent en déficit		
Les binaires larges	La prédiction phare : un excès de vitesse précis dans les étoiles doubles très séparées, deux scénarios (0,323 / 0,305), que Gaia DR4 tranchera en 2026	<i>Prédiction datée</i>	12
Le vide, ρ_Λ	La densité d'énergie du vide (la constante cosmologique) : l'ancre dimensionnelle unique du cadre, le point zéro de l'interface coupé à son échelle	<i>Mesuré-déclaré</i>	6
La décohérence	La décohérence intrinsèque est nulle sous une frontière de saturation en densité dérivée ($\rho_{\text{max}} \approx 27 \text{ g/cm}^3$) — les superpositions se préservent, quel que soit le matériau ; au-delà, l'objet est classique. C'est le même zéro que la mécanique quantique standard dans toute la gamme accessible ; la frontière ρ_{max} , seul trait distinctif, n'est pas directement testable	<i>Dérivé (= MQ standard là où l'on mesure)</i>	10
Casimir, Lamb, g-2	La table de correspondance entre objets du cadre et effets mesurés ; g = 2 natif	<i>Partiel</i>	7, 10
La matière dégénérée	Au-delà de la frontière de saturation : délocalisation du centre de masse exclue	<i>Conséquence</i>	10
L'inertie	La charge d'inertie : le mécanisme par lequel une excitation résiste au mouvement — ce qui joue le rôle de la masse	<i>Partiel</i>	9
La masse nulle du photon	La direction de jauge est plate : le porteur ne peut pas peser	<i>Dérivé</i>	8
Le mode de Higgs	L'analogue natif du champ de Higgs existe : la raideur du module de l'interface — exactement son trait caractéristique	<i>Dérivé</i>	8
L'antimatière	Jamais primordiale (théorème) ; le positron est une torsion de l'autre	<i>Dérivé</i>	7, 11

	face		
L'absence de baryogénèse	L'interface s'est stabilisée en un seul événement fixant une orientation unique : cela a produit de la matière, pas d'antimatière. Aucun déséquilibre à expliquer — prédiction distinctive, en désaccord avec le récit standard	<i>Prédiction</i>	11
L'intrication	Deux particules intriquées sont la même onde, projetée en plusieurs endroits via la géométrie profonde des champs — non une action à distance ; le support ($\mathbb{C}^3 \otimes \mathbb{C}^3$) est natif	<i>Piste native</i>	10
Le lentillage gravitationnel	Suit la dynamique par construction — là où la dynamique galactique est anormale, la lumière l'est identiquement	<i>Dérivé (structure)</i>	11
La constante de Hubble	Le nombre du cadre se situe entre les deux déterminations en désaccord (67,4 / 73,0) ; H_0 et a_0 procèdent d'une seule grandeur	<i>Dérivé</i>	11
Mercure	La précession retrouvée : 43,0 secondes d'arc par siècle (théorème)	<i>Dérivé</i>	11
Les ondes gravitationnelles	Portées par le singulet, non-dispersives — imposé par l'observation	<i>Dérivé</i>	11
Le principe d'équivalence	Étendu par secteurs : l'identité géométrie = gravité, par deux chaînes convergentes	<i>Dérivé</i>	11
Les trous noirs	Ni singularité, ni horizon ; l'information conservée (théorème). Et une masse minimale dérivée : aucun trou noir sous 16,9 μm — $M_{\text{min}} = 1,1 \times 10^{22} \text{ kg}$ ($5,7 \times 10^{-9} M_{\odot}$) — donc aucune évaporation finale, et la fenêtre « astéroïde » des trous noirs primordiaux comme matière noire est vide	<i>Dérivé</i>	11
La genèse	Le Big Bang relu comme stabilisation de l'intersection —	<i>Réinterprétation</i>	11

	réinterprétation géométrique, statut déclaré ; la borne de genèse		
Le rayon nucléaire (⁴⁸Ca)	Le rayon constant des isotopes : la réponse saturante de la tension — le frère nucléaire de la frontière quantique	<i>Dérivé</i>	9
La déviation de la lumière	Dérivée entièrement, sans calibration (§3.12quinquies) ; le verrou levé : la métrique gouverne le mouvement, $\gamma = 1$ dérivé (§3.12sexies)	<i>Dérivé</i>	11
Les couches électroniques (2, 8, 18, 32)	Les nombres de remplissage de la chimie — que la physique standard observe sans les dériver — sont dérivés	<i>Dérivé</i>	9
Les nombres magiques nucléaires	Reproduits par le calcul, avec une convergence inattendue avec la physique nucléaire établie ; le spin-orbite comme courbure de l'interface, de nature de surface	<i>Dérivé / Partiel</i>	9
Les rayons nucléaires	$R = a_{\text{nuc}} \cdot A^{(1/3)}$: l'exposant dérivé ; le terme de surface au v^3 dérivé depuis S25 (z prédit 0,402 fm ; ajusté en aveugle 0,36–0,43) ; a_{nuc} = l'ancre d'échelle déclarée, sous théorème	<i>Dérivé (S25) / Ancre</i>	9
Les King plots	La non-linéarité prédite là où la théorie standard exige une droite stricte — les déviations observées sont débattues ; test transversal en annexe	<i>Prédiction</i>	12
Le rayon du proton selon la sonde	Le rayon de charge est une propriété de l'objet, non de la sonde : l'extension du doublet ne dépend pas de la particule qui l'explore. Le cadre ne contient aucun mécanisme qui ferait différer une détermination muonique d'une détermination électronique	<i>Prédiction — les deux déterminations convergent depuis 2019</i>	9
La réduction de la fonction d'onde	Une détection est locale : elle porte sur une	<i>Dérivé</i>	10

	excitation présente à travers plusieurs champs (P5). Ce qu'on nomme réduction est une limitation de la mesure, non un effondrement physique		
Le temps	Émergent et géométrique : il n'existe pas au niveau fondamental des champs — un champ isolé est sa propre structure, sans avant ni après ; sa flèche est fixée à la stabilisation de Σ , comme un étiquetage global	<i>Dérivé</i>	6, 11
La divergence de l'énergie du vide	Le problème des 120 ordres : le point zéro n'est pas sommé jusqu'à une coupure arbitraire mais coupé à l'échelle propre du milieu, ce qui donne l'identification locale $p_\Lambda = \sigma \cdot k$. L'écart avec une somme non coupée reste non résolu	<i>Partiel</i>	6
La gravité à courte distance	Modification de la loi sous l'échelle de cellule ($\sim 30 \mu\text{m}$) — une prédiction sans paramètre libre, conditionnelle, confrontée à la littérature des balances de torsion	<i>Prédiction (cond.)</i>	11, 12
Les anomalies du CMB (grands angles)	La structure modale de l'interface — trois contributions de courbure — face aux anomalies des grandes échelles angulaires	<i>Partiel</i>	11
L'uniformité du CMB sans inflation	La même température partout, même entre régions jamais en contact causal (le problème de l'horizon) : obtenue comme effet de la stabilisation sur une grande surface, sans postuler l'inflation ; cohérent mais pas encore quantitatif	<i>Piste</i>	11
La fonction zêta et Riemann	La statistique GUE de l'opérateur T face à la distribution des zéros de zêta (Montgomery-Odlyzko) ; la conjecture	<i>Correspondance</i>	6

	de Berry-Keating examinée		
Le neutron	Une source saturée muette : l'équilibre interne des torsions ($q = 0$, vérifié $< 10^{-21} e$) ; cœur positif, périphérie négative (S24) ; la grandeur $\langle r^2 \rangle_n = -0,117 \text{ fm}^2$ chiffrée par les deux bornes de présence (un passage) : $+0,5 \%$	<i>Dérivé / Candidat fort</i>	9
L'unification sans la mort du proton	L'angle 3/8 dérivé sans générateur quark $\leftrightarrow$ lepton — le proton reste stable ; les trois forces ne se rejoignent pas en un point mais deux à deux (10^{13} , 10^{14} , 10^{17} GeV) : trois séparations d'une naissance en descente, chacune au poids commun $\frac{1}{2}$ — ordre et espacement dérivés étant donné l'échelle de la naissance (10^{13} , lue sur l'angle mesuré, non dérivée)	<i>Dérivé (angle, stabilité) / Dérivé sous la naissance (rendez-vous)</i>	8, 12
L'énergie faible	Le changement de face d'un enroulement, payé au plan médian de l'interface : $m_e \cdot e^{(L/2)} = 84,7 \text{ GeV}$ contre $\sqrt{(M_W \cdot M_Z)} = 85,61$ à $-1,1 \%$; W, Z, ν , G_F suivent par l'angle dérivé	<i>Candidat fort</i>	8
La vallée de stabilité	Pas une force : les cœurs nus des protons (a_c dérivé) contre le coût d'asymétrie (l'exclusion + le croisement p–n au plan médian), affaibli par la surface ; N/Z des noyaux lourds à $\pm 2,5 \%$ sans paramètre	<i>Dérivé sous les énoncés-sources S25–S26</i>	9
La résonance dipolaire géante	Protons contre neutrons en opposition — le changement de face équilibré à deux ; son énergie de rappel lit $a_{\text{sym}} \approx 19\text{--}21 \text{ MeV}$, au-dessus de l'exclusion (14)	<i>Identifié</i>	8, 9
La chiralité de la force faible	La vis dérivée (rotation $\times$ avance vers le vide) : une	<i>Candidat fort (sous hypothèse)</i>	8

	main par face, l'opposée pour l'antimatière, CP préservée à ce niveau (voir S.12 : la violation vit dans le mélange des trois résidences) — sous l'hypothèse que l'enroulement réalise l'ordre cyclique de la triarité (flaguée par le cadre) ; résidu : un bit d'orientation fixé à la stabilisation, non dérivé		
L'échelle de Planck	Deux routes du cadre vers Planck coïncident : la gravité (la masse de Planck du cadre, $\sigma \cdot v(\hbar/c^3 \rho_\Lambda) = 1,98 \times 10^{18}$ GeV, depuis la tension et l'ancre du vide) et la naissance de l'interface (S28 : douze demi-tours de π au-dessus du plan médian, depuis m_e , la tour et les douze rotations : $2,04 \times 10^{18}$) — à 3 % ; la masse de Planck du cadre vaut numériquement $v(\hbar c/12\pi G)$, de sorte que G est l'entrée de cette route — ce qui est testé est $e^{(-12\pi - L/2)} = m_e/M_{\text{cadre}}$; lue à l'envers, la masse de l'électron sort des deux ancras : 0,509 MeV contre 0,511 (−0,4 %)	<i>Prédiction (S28)</i>	8, 11
La masse de l'électron	Depuis les trois ancras et le compte des rotations : de la masse de Planck du cadre ($\sigma \cdot v(\hbar/c^3 \rho_\Lambda)$) on descend douze demi-tours jusqu'au plan médian (S28), puis la demi-hauteur de la tour des ancras ($L/2$ échelons) jusqu'à l'objet-limite — $m_e = 0,509$ MeV contre 0,511 mesuré (−0,4 % sous la cellule harmonisée). La constante déclarée du secteur leptonique n'est plus libre, et le mur nucléon–électron est contourné	<i>Conséquence des ancras — candidat fort</i>	8.6, S

	par le haut.		
La part du vide (Ω_Λ), la platitude, l'âge et l'expansion	La prédiction est $\Omega_\Lambda = 2/3$ exactement ($H_0^2 = 4\pi G\rho_\Lambda/c^2$) — l'accord entre la tension lue sur la gravité et sur l'expansion ; H_0 (68,6, mesuré 67,4–73), le temps propre (14,3 Gyr) et l'âge perçu avec la dilution (13,3 Gyr, mesuré 13,8) en découlent comme dans toute cosmologie, par Friedmann ; l'univers est plat : $\Omega_\Lambda + \Omega_m = 1$ sous l'équipartition des trois modes (la masse sur le singulet), rattachée à la stabilité de Σ (Ω_k mesuré $0,000 \pm 0,002$) — une lecture, non un théorème ; relation (non dérivé — voir S.13) (section 3.12) : $H = \sqrt{3} \cdot c/R_\Sigma$	<i>Prédiction dérivée : $\Omega_\Lambda = 2/3$ (mesuré $0,6847 \pm 0,0073$, écart 2,7 %, $2,5\sigma$ — tension nommée)</i>	3, 12
La masse du nucléon	Trois résidences, chacune à l'énergie du lieu où la tension et la rigidité s'inversent ($\ell_c = a/\sqrt{3}$) : $E_N = 3\sqrt{3} \cdot \hbar c/a = 964 \text{ MeV}$ (mesuré 939, +2,7 %) ; depuis la densité de saturation seule, sans masse : 964 MeV — le mur nucléon–électron ouvert par le haut	<i>Candidat fort (2–3 %, la précision de l'ancre)</i>	8
La peau de neutrons	Dans un noyau, le rayon de densité déborde le rayon de charge proportionnellement à l'excès de neutrons $(N - Z)/A$, et l'écart s'annule exactement à $N = Z$ — conséquence directe des deux modes (la charge sur le doublet, la densité sur le singulet), sans paramètre	Vérifiée sur six noyaux ($r = 0,914$) — candidat fort	9

1.2 Les nombres — dérivés contre mesurés

La vitrine du cadre : ce qu'il calcule depuis sa géométrie, face à ce que la nature répond.

Grandeur	Le cadre (dérivé)	La mesure
Inverse de la constante de structure fine	$2\pi(L-2)(1-d^2) = 137,44$	137,036 (écart 0,3 %)
Pente du running leptonique d' α^{-1}	0,21218 par échelon	$2/(3\pi) = 0,21221$ (structurel exact)
Sens du running de la force forte	Anti-écranage (signe dérivé)	La liberté asymptotique (Nobel 2004)
Le coefficient de la force forte	$b_0 = 11 - 4 = 7$ (le onze du porteur, le quatre du contenu)	$b_0 = 7$ (QCD, contenu complet)
Angle de Weinberg à l'échelle native	$\sin^2\theta_W = 3/8$	3/8 à l'unification (schémas GUT)
Le spectre des charges électriques	0, $\pm 1/3$, $\pm 2/3$, ± 1 — et rien d'autre	Identique
Couleurs ; générations	$N_c = 3$; $N_{gen} = 3$ (dérivés, avec la règle de sélection)	3 ; 3
Moment magnétique de l'électron	$g = 2$ natif (holonomie du demi-tour)	$g = 2,0023$ (l'écart = le running)
Le rapport spin-statistique	Théorème (deux routes indépendantes)	Postulat vérifié partout
Frontière quantique-classique	$\rho_{max} = \sqrt{3}\sigma/(ac^2) = 27,0 \text{ g/cm}^3$	Aucune autre théorie n'en chiffre une
Écart des binaires larges (Gaia DR4)	Fourche : 0,323 (A) / 0,305 (B)	Verdict : fin 2026
Seuil d'accélération galactique a_0	$(5/48) \cdot c^2 k = 1,203 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$	$\approx 1,2 \times 10^{-10}$ (empirique, courbes de rotation)
Loi de rotation galactique	$g_{obs}/g_N = 1 + 0,323/\sqrt{x}$ sous le seuil	Les courbes plates ; Gaia DR4 en juge (2026)
Paramètre PPN γ (courbure de la lumière)	$\gamma = 1$, dérivé — la métrique gouverne le mouvement	Cassini : $\gamma - 1 = (2,1 \pm 2,3) \times 10^{-5}$
Paramètre PPN β	$\beta = 1$ exactement ($g_{00} = -e^{(2\Phi/c^2)}$)	Compatible avec toutes les bornes
Déviation solaire de la lumière	Dérivée entièrement, sans calibration	1,751 seconde d'arc (Eddington et successeurs)
Précession de Mercure	43,0 secondes d'arc par siècle	43,0 (mesurée)
Constante de Hubble et âge de l'univers	$H_0 = k \cdot c_a = \sqrt{3} \cdot c/R_\Sigma = 68,6 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$; le temps propre $T_\Sigma = 1/H_0 = 14,3 \text{ Gyr}$; l'âge perçu avec la dilution $t_0 = 13,3 \text{ Gyr}$ — depuis σ et ρ_Λ , sans H_0 en entrée	67,4 (fond diffus) / 73,0 (échelle des distances) ; âge 13,8 Gyr (−3 %) — dérivé (section 3.12, aucun paramètre ajusté) ; le diagramme des supernovae reproduit à $\leq 0,07 \text{ mag}$
Couches électroniques	2, 8, 18, 32 — dérivés (la physique standard les observe sans les dériver)	La table périodique
Nombres magiques nucléaires	Reproduits ; le spin-orbite comme courbure de surface	2, 8, 20, 28, 50, 82, 126
Secteur des masses leptoniques	Rapport $= 8/15 \times (1 - d^2)$, avec $d = 4,9^\circ$ mesuré (forme dérivée)	Le critère Koide ($Q = 2/3$ à 10^{-5}) est le juge du secteur
Loi des rayons nucléaires	$R = a_{nuc} \cdot A^{(1/3)}$ — l'exposant dérivé ; le bord au $\sqrt{3}$ (S25)	Rayons de charge mesurés : z ajusté 0,36–0,43 vs 0,402 prédit
Rayon de charge du proton	Depuis l'énergie, l'électron soustrait : −2,8 % ; avec les deux bornes (deux passages, 1/12) : −0,1	0,841 fm mesuré ; le neutron juge l'exposant (réserve : S.2)

	%	
Masse minimale d'un trou noir	$M_{\min} = a_{\min} \cdot c^2 / 2G = 1,1 \times 10^{22} \text{ kg}$ ($R = 16,9 \text{ } \mu\text{m}$)	Aucune bouffée d'évaporation détectée (Fermi, HAWC) ; fenêtre PBH $10^{17} - 10^{23} \text{ g}$ exclue
Rayon de charge carré du neutron	Signe (S24) et grandeur : $-0,117 \text{ fm}^2$ (un passage, 1/8)	$-0,116 \text{ fm}^2$ mesuré (+0,5 %) ; l'échange des exposants casse à 18 %
Échelle faible (plan médian)	$m_e \cdot e^{\Lambda(L/2)} = 84,7 \text{ GeV}$	$v(M_W \cdot M_Z) = 85,61 \text{ GeV}$ (-1,1 %)
Masses W et Z	$M_W = 79,6 \text{ GeV}$; $M_Z = 90,3 \text{ GeV}$ (par l'angle dérivé)	80,37 ; 91,19 mesurés (-1,0 %)
Constante de Fermi	$G_F = \sqrt{2} \cdot g^2 / (8M_W^2) = 1,185 \times 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$	$1,1664 \times 10^{-5}$ mesuré (+1,6 %)
Coût des cœurs nus (vallée)	$a_c = (3/5) \cdot \alpha \cdot \hbar c / r_0 = 0,72 \text{ MeV}$ ($r_0 = 1,20 \text{ fm}$, sphère uniforme équivalente)	0,71 MeV (formule semi-empirique)
Coût d'asymétrie en volume S_0	exclusion 11,1 + croisement 20,8 = 31,9 MeV (à $r_0 = 1,20$)	$31,6 \pm 2,2 \text{ MeV}$ mesuré (+1 %)
Vallée de stabilité, plomb-208	$N/Z = 1,51$ ($r_0 = 1,20$, sans compensation) ; U-238 : 1,55	1,537 mesuré (-1,8 %) ; U : 1,587 (-2,3 %)
Force de rappel des champs (confinement)	$T = 3\sqrt{3} \cdot E_N^2 / (8\pi \hbar c) = 924 \text{ MeV/fm}$; $v\sigma = 427 \text{ MeV}$	$v\sigma = 420 - 440 \text{ MeV}$ (Regge) ; une combinaison sur douze — candidat fort
Couplage fort au Z, $\alpha_s(M_Z)$	0,120 — le plateau nu ($g^2 = 1$) au lieu du confinement ($a/\sqrt{3}$, 319 MeV), descendu avec la pente constante par échelon et le compte des enroulements présents (S27) ; au-dessus de 2 GeV la mesure est suivie à ~3 % (10 GeV -1 %, 200 GeV +2 %)	0,118 mesuré (+2 %, l'écart entre conventions — le running est une loi fermée, close) ; candidat fort — au-dessus de 2 GeV à ~3 % ; près du plancher, établi sous le mécanisme de présence : la force entre deux couleurs voit le couplage fois la présence de la couleur déplacée (¼ au bord de la cellule)
Force entre deux couleurs, 0,1–1 fm	$F(r) = T + (4/3) \cdot \alpha(\hbar c/r) \cdot f(r) \cdot \hbar c/r^2$ — la force de rappel des trois champs, plus la réponse du milieu à une sonde pesée par la présence de la couleur déplacée, $f(r) = (\frac{1}{2})^{(2r/\ell_c)}$ (une moitié par demi-tour, un tour = la cellule des couleurs) ; sans paramètre	Réseau : $F = \sigma + e \cdot \hbar c/r^2$, $e \approx 0,29$; le facteur de présence reproduit le coefficient de 0,05 à 0,62 fm à 7 % — P5 sous l'identité tour = pas = longueur, sans paramètre ; forme non exclusive dans la marge de la cible (± 9 %) ; la longueur ℓ_c est celle du doublet ; le demi-tour en distance est P5 sous l'identité tour = pas = longueur (dérivé)
$1/\alpha$ au Z, depuis le bas	$1/\alpha(M_Z) = 126,97$ — de 137,44 en bas, montant avec le compte des enroulements chargés présents (S27)	127,95 mesuré (-0,8 %) ; la même règle que la forte, jugée pour la phase
Angle de mélange au Z (non une prédiction : l'échelle de naissance μ_{12} est lue sur cet angle)	$\sin^2 \theta_W(M_Z) = 0,229$ — depuis 3/8 à la naissance (10^{13} GeV) avec les pentes produites par S27 (½ par doublet présent ; les charges de phase par les faces et Q ; le Higgs natif singulet)	0,2312 mesuré (-1,0 %) ; les deux autres rendez-vous prédits : $2,2 \times 10^{14}$ et $7,2 \times 10^{16} \text{ GeV}$; le porteur des faces (11/3) par unité fois deux faces — dérivé
La borne de la naissance (Planck)	$E_{\text{médian}} \cdot e^{\Lambda(12\pi)} = 2,04 \times 10^{18} \text{ GeV}$ — les douze rotations du repère, trois épaisseurs au-dessus	La masse de Planck du cadre, $\sigma \cdot v(\hbar/c^3 p_{\Lambda}) = 1,988 \times 10^{18} \text{ GeV}$ (+2,6 %) ; Planck n'est pas visé ; G entre

	du centre	par $M_{\text{cadre}} = v(\hbar c/12\pi G)$ — ce qui est testé est le rapport $e^{(-12\pi - L/2)}$
La masse de l'électron depuis les ancrés	$m_e = \sigma \cdot v(\hbar/(c^3 \rho_{\Lambda})) \cdot e^{(-L/2 - 12\pi)} = 0,509 \text{ MeV}$ — depuis la tension, l'ancre du vide, la tour L et les douze rotations (S28)	0,511 MeV mesuré (−0,4 %) ; conséquence depuis les trois propriétés des champs, candidate forte — la constante déclarée du secteur leptonique reliée aux ancrés
La part du vide dans l'univers	$\Omega_{\Lambda} = 2/3 = 0,667$ — le 4π de $H_0^2 = 4\pi G \rho_{\Lambda}/c^2$ (12 $\pi/3$, dérivé) ; et l'équipartition des trois modes : la masse sur le singulet (1/3), le vide sur le doublet (2/3)	$0,6847 \pm 0,0073$ mesuré (Planck 2018) ; écart 2,7 %, 2,5 σ — prédiction, tension nommée ; l'équipartition de phase est celle de S14, exacte
La taille de l'interface	$R_{\Sigma} = 3\sigma/\rho_{\Lambda} = 2,3 \times 10^{26} \text{ m} = 24,7$ milliards d'années-lumière = 1,73 rayons de Hubble	Sans contrepartie observationnelle (entre l'horizon de Hubble, $1,4 \times 10^{26}$, et l'observable, $4,4 \times 10^{26}$) ; la projection sur les grands angles du fond diffus est exclue par le cadre (les modes ne sont pas confinés à Σ) — R_{Σ} est mesuré, non relation (non dérivé — voir S.13)
La matière dans le volume de fermeture	$\rho_m = \rho_{\Lambda}/2 = 2,95 \times 10^{-27} \text{ kg/m}^3$; $M_{\Sigma} = 1,6 \times 10^{53} \text{ kg} \approx 10^{80}$ nucléons ; $\rho_c = 3\rho_{\Lambda}/2 = 8,9 \times 10^{-27} \text{ kg/m}^3$	Le nombre d'Eddington ($\sim 10^{80}$) ; ρ_c mesuré $8,5 \times 10^{-27}$ (+4 %) — conséquences du partage 1/3
La température du fond diffus	$T_{\text{CMB}} = (\rho_{\Lambda}/a_{\text{rad}})^{1/4} \cdot e^{(-3\pi/4)} = 2,742 \text{ K}$ — le vide abaissé d'un demi-tour de densité par champ	2,7255 K mesuré (+0,6 %, dans la marge de ρ_{Λ}) — mécanisme candidat, relation nouvelle
La part de la matière et la courbure	$\Omega_m = 1/3$ (la masse sur le singulet, T3 ; l'équipartition de phase des trois modes, S14) ; $\Omega_{\Lambda} + \Omega_m = 1 \Rightarrow \Omega_k = 0$: l'univers est plat — cohérent avec la courbure moyenne nulle de l'interface stable	$\Omega_m = 0,315 \pm 0,007$ (+5,8 %) ; $\Omega_k = 0,000 \pm 0,002$ — la platitude jugée exacte ; lecture cohérente (T3, T16, S14), non un théorème — voir S.13
Rapport des masses muon/électron	$m_{\mu}/m_e = (\pi/8) \cdot e^{(2\pi)} = 210,3$ — le col leptonique de profondeur $R = 2\pi$, un tour de l'enroulement = 2π échelons (la même conversion que S28 et le fond diffus)	206,77 mesuré (+1,7 %) ; $R^* = 6,266$ contre $2\pi = 6,283$ (0,27 %) — l'identité dilatation-enroulement, énoncé-source, jugée (Annexe K)
La masse du nucléon	$E_N = 3 \cdot \hbar c/\ell_c = 3\sqrt{3} \cdot \hbar c/a_{\text{nuc}} = 964 \text{ MeV}$; $m_N = (3\sqrt{3})^{4/3} \cdot \hbar c \cdot n_0^{1/3} = 964 \text{ MeV}$ ($n_0 = 0,16 \text{ fm}^{-3}$, sans masse en entrée)	938,9 (proton), 939,6 (neutron) mesurés — +2,7 % ; candidat fort ; le rapport 1836 devient le rapport de deux masses tenues par les ancrés
Coefficient d'appariement (noyaux légers)	$W = 3 \cdot E_{\text{cross}} = 62,4 \text{ MeV}$ — un nucléon sans partenaire déséquilibre les trois champs à la fois (trois résidences, S26) ; terme $W \cdot N - Z /A$	Fit libre en Z continu : 61–64 MeV (2,9–3,1 $\times E_{\text{cross}}$) ; le Wigner standard 47 ; Fe-56 : 1,18 contre 1,154 — candidat fort
Le diagramme de Hubble (supernovae)	$H(z)^2 = H_0^2 \cdot [(1/3)(1+z)^3 + 2/3]$ — la dilution par les cellules, les parts dérivées, $H_0 = k \cdot c_a$; $z_t = 0,59$	$\mu(z)$ reproduit de $z = 0,1$ à 2 à 0,04–0,07 mag ($\Lambda\text{CDM} : 0,02$) ; z_t mesuré 0,63 ; de Sitter (+1,1 mag à $z = 2$) et matière seule exclus — dérivé, sans histoire

L'hélium primordial	$Y_p = 2 \cdot f_n \cdot (1 - f_e \cdot \mu^2) = 63/256 = 0,2461$ — $f_n = 1/8$ la présence de la compensation interne du neutron ; 1/64 une tentative de changement de face ; sans durée	0,2458 ± 0,0013 mesuré (2026) : +0,2σ ; resommation exclue (−13σ) ; BBN standard 0,2467 — candidat fort, un juge
La peau de neutrons	Rayon de densité (singulet, tous les nucléons) – rayon de charge (doublet, protons seuls) ∝ (N – Z)/A, nul à N = Z — sans paramètre	Six noyaux : corrélation 0,914 ; pente 0,915 ± 0,076 fm ; Ca-40 (N = Z) : −0,01 ± 0,03 — signe, loi et zéro rendus ; pente non calculée

Et ce que le cadre ne calcule pas encore, dit d'avance : la masse de l'électron depuis l'ancre (l'exposant N reste une dette) ; le rapport 1836 (encadré par théorème, non dérivé) ; les écarts de masse entre générations ; la normalisation de groupe complète du running fort. Le registre intégral est en section 13.

1.3 Ce qui entre — les entrées mesurées, résultat par résultat

Le cadre pose trois ancres — la tension σ , la densité du vide ρ_Λ , la densité de la matière au plafond ρ_{nuc} — et en dérive le reste. Cette table dit, pour chaque résultat de la table 1.2, quelles valeurs mesurées entrent réellement dans le calcul, et lesquelles n'y entrent pas.

Trois précisions valent pour tout le tableau.

(i) σ est une ancre de structure : sa valeur numérique est aujourd'hui lue sur la gravité, $\sigma = \sqrt{c^4 \rho_\Lambda / 12\pi G}$, puisque le rayon de fermeture $R_\Sigma = 3\sigma / \rho_\Lambda$ n'a pas de contrepartie observationnelle nommée ; tout résultat qui passe par σ passe donc par G .

(ii) ρ_Λ est lui-même obtenu de la cosmologie observée, $\Omega_\Lambda \cdot 3H_0^2 c^2 / (8\pi G)$: H_0 est dans l'entrée de tout ce qui passe par ρ_Λ .

(iii) $a_{\text{nuc}} = 1,0635 \text{ fm}$ est lu sur la saturation nucléaire.

Un résultat n'est intéressant que par ce qui le sépare de ses entrées : la colonne de droite le dit.

Résultat	Entrées mesurées	N'entre pas	Écart au mesuré
Rapport des masses muon/électron	Aucune	m_μ, m_e	+1,7 % ($R^* = 6,266$ contre $2\pi : 0,27 \%$)
Constante de structure fine (bas)	$d = 4,9^\circ$ (l'angle du cercle des générations) ; L (donc $\rho_\Lambda, a_{\text{nuc}}$)	α	+0,5 %
Angle de mélange à la naissance	Aucune	$\sin^2 \theta_W$	3/8 exact (valeur à la naissance)
Angle de mélange au Z	$\mu_{12} \approx 10^{13} \text{ GeV}$, lu sur cet angle	—	non une prédiction : l'échelle est lue sur l'observable
Couplage fort au Z	a_{nuc} (le lieu $\ell_c = a/\sqrt{3}$)	$\alpha_s, \Lambda_{\text{QCD}}$	+2 % (écart de convention, lecture)
Échelle électrofaible (plan médian)	m_e ; L (donc $\rho_\Lambda, a_{\text{nuc}}$) ; l'angle et α au Z pour le partage en W et Z	M_W, M_Z	-1,1 %
Masse de l'électron	σ (donc G) ; ρ_Λ (donc H_0) ; a_{nuc}	m_e , la masse de Planck	-0,4 % (écart réel : la sensibilité aux ancres est de 0,25 %)
Masse du nucléon	a_{nuc} (ou, sans masse, la densité de saturation n_0)	m_p, m_n	+2,7 % (les deux routes donnent 964 MeV)
Rayons de charge du proton et du neutron	$E_N = 938,9 \text{ MeV}$ mesuré ; a_{nuc}	Les rayons	-0,1 % et +0,5 % ; avec E_N dérivé (964) : -7,6 % et +23,5 %
Vallée de stabilité, rayons nucléaires	a_{nuc} ; $r_0 = 1,20 \text{ fm}$ (convention de rayon)	Les masses nucléaires	$\sim 1 \%$ sur N/Z (lourds)
Hélium primordial	Aucune	Y_p , la durée de vie du neutron, la densité de baryons	+0,2 σ
Température du fond diffus	ρ_Λ (donc H_0)	T_{CMB}	+0,6 %
Constante de Hubble, âge	σ (donc G) ; ρ_Λ (donc H_0)	—	$H_0 + 1,8 \%$; âge -3 % — le contenu de l'entrée limite ce que ces lignes testent
Part du vide et de la	Aucune, une fois les parts	Ω_Λ, Ω_m	$\Omega_\Lambda = 2/3$ exact dans le

matière	définies comme fractions des modes		cadre ; mesuré $0,6847 \pm 0,0073$ ($2,5\sigma$)
Diagramme de Hubble (supernovae)	H_0 (par ρ_Λ)	Les distances de luminosité	$\leq 0,07$ mag de $z = 0,1$ à 2
Seuil galactique a_0	σ, ρ_Λ	a_0 , la courbe de rotation	$a_0/(cH_0)$ fixé par la même courbure k — voir les coefficients $5/48$ et $0,323$ au document cadre

Lecture de la table. Trois lignes ne testent rien de plus que leur entrée et sont conservées pour la cohérence, non comme prédictions : l'angle au Z, la constante de Hubble et l'âge. Deux lignes portent un écart réel, non couvert par l'incertitude des ancres : la masse de l'électron ($-0,4\%$) et la part du vide ($2,5\sigma$).

Les lignes qui n'ont aucune entrée mesurée — le rapport muon/électron, l'angle à la naissance, l'hélium primordial — sont celles où le cadre risque le plus.

2. Les fondements

2.1 L'image

Trois champs remplissent la totalité — trois variétés géométriques, interchangeable quant à leur tension : aucun n'est privilégié, et cette équivalence exacte portera des conséquences immenses (la force forte en découlera). Là où les trois se rencontrent vit une interface, Σ — et cette interface est notre univers : tout ce que nous observons, matière, lumière, forces, est une excitation de Σ . Mais Σ n'est pas la réalité profonde : elle est la somme des trois champs, notre point de vue sur eux — c'est dans les champs que tout se passe, et sur l'interface que tout se lit. Une particule n'est pas un objet posé sur ce décor : elle EST une configuration des champs — y compris leurs fluctuations de point zéro. Cette phrase, anodine en apparence, décidera à elle seule de la frontière entre le quantique et le classique (section 10).

2.2 Les cinq postulats

Tout le cadre pose exactement ceci, et rien d'autre :

P1 — Le Grand Ensemble. La totalité, sans métrique ni topologie ; il contient sans mesurer. (Le cadre ne présuppose ni espace, ni temps : ils émergeront.)

P2 — Les Champs. Trois variétés riemanniennes orientables (M_i, g_i), chacune portant sa géométrie et sa dualité intrinsèques ; trois champs plus l'interface donnent quatre structures binaires. (De ces dualités naîtront les faces — et de celles-ci, le signe des charges et l'antimatière.)

P3 — Les Intersections. Une intersection est stable si et seulement si le spectre de sa seconde variation est positif. (Le critère d'existence : ce qui vit est ce qui tient.)

P4 — La Tension de Surface. À l'interface émerge l'opérateur hermitien T , à spectre réel discret, de statistique GUE ; $\langle T \rangle = 0$ au repos, $\langle T^2 \rangle \neq 0$; T redistribue sans créer. (La grandeur fondamentale unique du cadre — et son $\langle T^2 \rangle \neq 0$ est le point zéro : le vide fluctue par postulat de structure, non par ajout.)

P5 — L'Observabilité. Une excitation est une onde continue dans les champs, observable aux seules intersections ; pas d'effondrement — une détection est locale. (Le cadre est du côté « l'onde est tout » ; la section 10 en tire la décohérence.)

P6 — Le Temps. Le temps n'est pas primitif ; il émerge comme direction de redistribution de T . (Démontré depuis P1–P5 avec la signature lorentzienne — un postulat devenu théorème.)

P7 — La Sélection Dimensionnelle. La structure 3+1 est forcée. (Démontrée par quatre arguments internes — un postulat devenu théorème ; voir T4.)

P8 — La Correspondance Arithmétique. Un PROGRAMME, non un acquis : le lien entre la statistique GUE de T et les zéros de la fonction zêta — l'identification de Berry-Keating est déclarée obstruée par le cadre lui-même.

Structure fine : P2 se déploie en P2a–P2c (la géométrie intrinsèque d'un champ ; la dualité ; la dérivation du spin par les deux normales) et P4 en P4a–P4e (les propriétés de l'opérateur T), chacun démontré ou argumenté au chapitre 0b. La numérotation vivante du cadre va donc de P1 à P8 : cinq postulats fondateurs, deux postulats devenus théorèmes, un programme.

De ces cinq postulats, par le seul critère de stabilité et la géométrie, découlent : une échelle de cellule, une équation de mouvement, un spectre de charges, une algèbre de forces, et les théorèmes de la section 4. Le reste du document déroule cette chaîne.

2.3 Les modes : le singulet et le doublet

Une excitation de l'interface se répartit sur les trois champs — mais pas n'importe comment. Parce que les trois champs sont interchangeables (aucun n'est privilégié), leurs déplacements se séparent naturellement en deux familles :

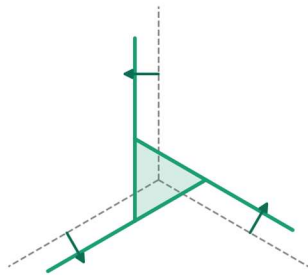
Le singulet — la part commune aux trois champs, ce qu'ils font ensemble, à l'unisson : un mode rigide. C'est lui qui porte la masse, l'acoustique et la gravité, et c'est lui qui porte la génération lourde.

Le doublet — les deux parts relatives, les déphasages entre les champs : deux modes mous. C'est lui qui porte la lumière et le secteur électrofaible mou.

C'est la décomposition $3 = 1 \oplus 2$. Elle n'est pas posée : elle tombe de l'égalité exacte des trois champs. Et elle organise toute la physique du cadre — d'un côté ce qui pèse et attire, de l'autre ce qui rayonne :

$$3 = 1 \oplus 2 \quad (\text{un singulet rigide + un doublet mou})$$

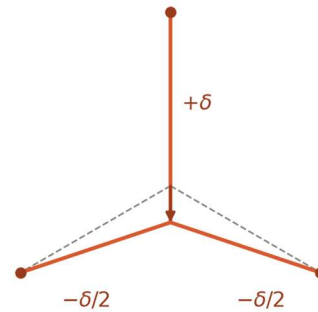
Singulet $u_1 = u_2 = u_3$



la jonction s'ouvre — l'aire change
la tension répond

$$\sigma q^2(1 + 2b) + \kappa q^4 = 3\sigma q^2 + \kappa q^4$$

Doublet $u_1 + u_2 + u_3 = 0$



la jonction glisse — les longueurs se compensent
la tension ne répond pas

$$\sigma q^2(1 - b) + \kappa q^4 = \kappa q^4$$

Les deux modes de la paroi commune, en diagramme d'amplitudes.

Les trois branches à 120° représentent les déplacements normaux u_1, u_2, u_3 des trois champs qui partagent Σ : un diagramme de modes, non la géométrie de Σ .

Σ est une paroi commune de codimension 1 — une seule normale, donc deux faces (P6, S21) — et non une jonction triple de codimension 2 ; l'image de la jonction triple (parois de domaine) est une analogie, signalée comme telle.

Les déplacements u_i sont mesurés selon la normale commune. Le singulet ($u_1 = u_2 = u_3$) ouvre la jonction : l'aire change, la tension répond — mode raide, $3\sigma q^2 + \kappa q^4$. Le doublet ($u_1 + u_2 + u_3 = 0$) la fait glisser : les longueurs se compensent, la tension ne répond pas — modes mous, κq^4 . C'est cette différence qui fait qu'une masse — qui sollicite la tension — ne vit que sur le singulet (T3).

3. Les lois

L'espace, le temps et la gravité émergent de trois propriétés des champs. Le cadre n'a que trois ancres, et toutes sont des propriétés des champs : la tension σ , la densité du vide ρ_Λ , la densité de la matière au plafond ρ_{nuc} . Rien de spatial, temporel ou gravitationnel n'est une donnée. L'espace émerge comme la fermeture de l'interface ($R_\Sigma = 3\sigma/\rho_\Lambda$) ; le temps, comme le parcours de la lumière sur la longueur qui gouverne l'expansion ($T_\Sigma = R_\Sigma/(\sqrt{3}\cdot c) = 14,3$ Gyr, le temps propre de l'interface ; l'âge perçu de l'intérieur, avec la dilution, 13,3 Gyr — mesuré 13,8) ; la gravité, comme $G = c^4\rho_\Lambda/(12\pi\sigma^2)$; l'expansion, comme $H_0 = 1/T = 68,6$ km/s/Mpc (mesuré 67,4–73). La tension σ , lue sur la gravité, est retrouvée sur l'expansion à 2 % : c'est une seule constante de champ — et leur accord est la prédiction $\Omega_\Lambda = 2/3$ (mesuré 0,69).

La lumière de l'interface. Chaque champ, seul, transporte ses ondes à c . L'interface est trois champs à la fois : une onde qui court dans Σ doit entraîner les trois ensemble — trois fois plus d'inertie pour la même tension, et une onde va comme la racine du rapport tension sur inertie : $\sqrt{3}$ fois moins vite. La vitesse propre de l'interface est $c_a = c/\sqrt{3}$, environ 58 % de c — un nombre ancien dans le cadre, qui n'a rien d'un réglage.

L'âge de l'univers. L'interface des trois champs se ferme là où sa tension équilibre la pression du vide, au rayon $R_\Sigma = 3\sigma/\rho_\Lambda$ (analogie signalée : une bulle à trois parois). Le temps n'est pas un décor : c'est la direction normale à Σ , et une durée se compte comme un chemin — celui que parcourt la lumière de l'interface. L'âge de l'univers est le temps que met la lumière à parcourir la longueur qui gouverne l'expansion, $R_\Sigma/\sqrt{3}$ — l'interface entière engage les trois champs, et sa raideur est 3σ (section 3.12, le critère d'échelle) :

$$T_\Sigma = R_\Sigma/(\sqrt{3}\cdot c) = 1/H_0 = 14,3 \text{ Gyr (le temps propre)} ; t_0 = 13,3 \text{ Gyr (l'âge perçu, avec dilution ; mesuré 13,8)} ; H_0 = k\cdot c_a = 68,6 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Mpc}^{-1} \text{ (mesuré 67,4–73)}$$

C'est la dérivation de la section 3.12 : $H = c\cdot k/\sqrt{3}$, le $\sqrt{3}$ venant de la contrainte $\langle T \rangle = 0$ ($b = 1$) — le même facteur non ajustable qui fixe la portée gravitationnelle. Rien de mesuré sur l'expansion n'entre dans ce calcul : seulement la tension et la densité du vide.

Le vide fait deux tiers de l'univers. La même tension σ fait la gravité ($G = c^4\rho_\Lambda/(12\pi\sigma^2)$) et l'âge ($T = R_\Sigma/3c_a$). Si σ est une seule constante de champ, les deux calculs doivent s'accorder — et ils s'accordent à 2 % (σ lue sur la gravité : $4,12\times 10^{16}$ J·m⁻² ; sur l'expansion : $4,20\times 10^{16}$). Écrit comme une relation entre les nombres mesurés, cet accord dit que le vide occupe une part fixe de l'univers :

$$H_0^2 = 4\pi G\rho_\Lambda/c^2 \Leftrightarrow \Omega_\Lambda = 2/3 = 0,667 \text{ (mesuré 0,69)}$$

Pourquoi deux tiers : l'interface a trois modes de même poids — le singulet, qui porte la masse (T_3), et le doublet, deux modes relatifs ; par l'équipartition de phase (S14), le singulet porte un tiers de la densité (la matière) et le doublet deux tiers (le vide). Si l'univers est l'interface fermée de trois champs, sa composition n'est pas arbitraire. Statut : prédiction sous la lecture « l'âge = un tiers du rayon de fermeture à la vitesse de l'interface », deux nombres natifs (3, $\sqrt{3}$), jugée à 2–3 % ; l'écart de 2,6 % sur Ω_Λ dépasse l'incertitude de la mesure (1 %) et reste à comprendre. En toute transparence : l'âge et H_0 ne sont pas des prédictions indépendantes — ce sont l'équation de Friedmann avec Ω_Λ fixé ; la prédiction du cadre, la seule, est $\Omega_\Lambda = 2/3$ (section 12, prédiction 9).

L'univers est plat — la stabilisation de Σ . La stabilité de l'interface est, au cadre, un théorème : une intersection est stable si et seulement si elle est une variété minimale — sa courbure moyenne est nulle en

tout point (Simons, section 0c). La répartition cosmologique dit la même chose : la masse vient du singulet (T3), l'interface a trois modes de même poids — un singulet et un doublet (T16) — et, par l'équipartition de phase (S14 : une rotation de phase uniforme, dont Σ ne voit qu'une projection — le facteur $\frac{1}{2}$, exact), le singulet porte un tiers : $\Omega_m = 1/3$, le doublet les deux autres : $\Omega_\Lambda = 2/3$; l'univers n'est pas vide, il est à l'équilibre. La pression du vide (deux champs) et la contribution de la matière (un champ) se compensent dans la courbure moyenne ; cet équilibre des trois champs est exactement la condition de platitude, la somme des trois contributions valant la densité critique :

$$\Omega_\Lambda + \Omega_m = 2/3 + 1/3 = 1 \Rightarrow \Omega_k = 0 \quad (\text{mesuré : } 0,000 \pm 0,002)$$

On aurait pu attendre une légère courbure du seul fait que l'univers n'est pas vide ; il n'y en a pas, parce que les contributions qui le remplissent sont celles qui annulent sa courbure moyenne. Le rayon de fermeture R_Σ n'est pas un rayon de courbure : c'est l'extension où l'interface se referme. Là où la cosmologie standard explique la platitude par une phase d'inflation, le cadre l'obtient par comptage : trois champs, trois contributions, une somme. Statut : lecture cohérente (T3, T16 et l'équipartition de phase de S14) — non un théorème : l'identification entre la courbure moyenne de Σ et celle de la tranche spatiale émergente n'est pas écrite, et Σ , qui se referme à R_Σ , n'est pas minimale au sens strict. Reste une lecture de correspondance : que les parts cosmologiques soient les parts des trois modes.

Ce que la fermeture de l'interface des trois champs détermine d'un coup. Sous l'équipartition de phase des trois modes (S14) — la masse sur le singulet (un tiers), le vide sur le doublet (deux tiers) — quatre grandeurs, avec leur juge.

(1) La taille. $R_\Sigma = 3\sigma/\rho_\Lambda = 2,3 \times 10^{26}$ m — 24,7 milliards d'années-lumière, 1,73 rayons de Hubble. C'est la taille de l'interface, pas celle de l'univers observable ($4,4 \times 10^{26}$ m comobile) ; elle est entre l'horizon de Hubble et l'observable. Ce qu'elle est physiquement — l'endroit où les trois champs se referment — n'a pas encore de contrepartie observationnelle nommée ; c'est un nombre calculé qui attend son juge.

(2) Les parts. Le vide $2/3$ — les deux modes relatifs (mesuré 0,685 : -2,7 %) — et la matière $1/3$ — le mode commun, qui porte la masse (mesuré 0,315 : +5,8 %). Les deux écarts sont le même écart, vu des deux côtés — ce que le cadre rate, c'est le partage exact, d'environ 3 %.

(3) La courbure — une lecture cohérente, non une somme. Une interface stable est une variété minimale : sa courbure moyenne est nulle en tout point (théorème de Simons). La platitude est ici rattachée à la stabilité de Σ , indépendamment de son contenu — une lecture, non un théorème : le maillon entre la courbure moyenne de l'interface et la courbure de la tranche spatiale émergente reste à écrire — et la répartition des modes en donne la lecture cosmologique : $\Omega_\Lambda + \Omega_m = 1$ exige qu'aucune quatrième contribution n'existe. Mesuré : $\Omega_k = 0,000 \pm 0,002$. La cosmologie standard explique la platitude par l'inflation ; ici elle suit de la stabilité de l'interface. Statut : lecture cohérente, non théorème — l'identification entre la courbure moyenne de Σ et la courbure de la tranche spatiale émergente (celle que mesure Ω_k) n'est pas écrite, et Σ , qui se referme à R_Σ , n'est pas minimale au sens strict.

(4) La matière. $\rho_m = \rho_\Lambda/2$; dans le volume de fermeture : $1,6 \times 10^{53}$ kg, soit $\sim 10^{80}$ nucléons — le nombre d'Eddington, celui qu'il cherchait en 1930 sans mécanisme. Et la densité critique $8,9 \times 10^{-27}$ kg/m³ (mesurée 8,5).

$$R_\Sigma = 3\sigma/\rho_\Lambda = 2,3 \times 10^{26} \text{ m} ; \quad \Omega_\Lambda = 2/3, \quad \Omega_m = 1/3, \quad \Omega_k = 0 ; \quad M_\Sigma = \rho_m \cdot (4/3)\pi R_\Sigma^3 = 1,6 \times 10^{53} \text{ kg} \approx 10^{80} \text{ nucléons}$$

Ce ne sont pas quatre prédictions — c'est une prédiction (la répartition $2/3-1/3$, à 3 % près) et ses conséquences par l'équation de Friedmann, plus deux nombres nouveaux : la platitude (exacte, jugée) et la taille de l'interface (calculée, sans juge). Ce que le cadre ne calcule pas : le partage de la matière entre ce qui est devenu noyaux et le reste, et la température du fond diffus — aucun mécanisme.

Le lointain sans histoire — la dilution par les cellules. La cellule a est constante ; ce qui croît est le nombre de cellules entre deux points. Regarder loin, c'est voir l'interface là où il y avait moins de cellules entre les choses : même matière, moins de cellules — plus dense en $(1+z)^3$; même rayonnement, moins de cellules pour l'étirer — plus chaud en $(1+z)$; le vide, ancre, ne se dilue pas. Le taux d'expansion était donc plus grand loin, la matière y pesant plus. Avec les parts dérivées et $H_0 = k \cdot c_a$:

$$H(z)^2 = H_0^2 \cdot [(1/3)(1+z)^3 + 2/3] \quad ; \quad z_{\text{transition}} = (2\Omega_\Lambda/\Omega_m)^{1/3} - 1 = 0,59$$

(mesuré 0,63)

Le juge est le diagramme de Hubble des supernovae, de $z = 0,1$ à 2 : le cadre le reproduit à $0,04-0,07$ magnitude près (dont $0,04$ est l'écart entre $68,6$ et $67,4$ km/s/Mpc — la tension de Hubble, non un défaut de forme), avec la décélération loin et l'accélération près. Deux contrôles : sans dilution (taux constant), la courbe rate de $+0,5$ mag à $z = 1$ et $+1,1$ à $z = 2$ — exclu ; avec la matière seule, de $-0,3$ à $-0,8$ — exclu. C'est le mélange dérivé, un tiers et deux tiers, plus la dilution, qui reproduit la mesure, sans bouton.

Deux temps, deux objets. Le temps propre de l'interface, $T_\Sigma = R_\Sigma/(\sqrt{3} \cdot c) = 1/H_0 = 14,3$ Gyr — le temps de Hubble, constant, dérivé de la tension et de l'ancre du vide. L'âge perçu de l'intérieur, en remontant le taux tel qu'il variait, $t_0 = 13,3$ Gyr — mesuré $13,8$ (-3 %, écart réel : la marge des ancrs ne le couvre pas). Le nombre que la cosmologie nomme « âge de l'univers » est le second.

La composition de la stabilisation — l'hélium primordial, sans durée. Chaque tour qui monte en énergie se solde par un enroulement et sa compensation : un proton et un électron. La compensation est projetée (le proton, l'électron au loin) ou retenue (le neutron : le même proton avec son électron dedans). La part des nucléons nés neutrons est la présence de la compensation interne, $f_n = f_e/(1 - f_\mu) = 1/8$ — l'objet même qui donne le rayon de charge du neutron (section 8.4, $+0,5$ %). Un neutron ne persiste que tenu par un partenaire de croisement (S26) ; à la stabilisation, sept protons pour lui, un partenaire est toujours à portée : à la première tentative, soit le partenaire complète le croisement — la paire, qui finit dans l'hélium-4 —, soit le neutron a basculé seul, avec le poids d'une seule tentative de changement de face complet, $f_e \cdot f_\mu^2 = 1/64$. Il n'y a pas de seconde tentative : l'objet qui la ferait est apparié, ou il est proton.

$$Y_p = 2 \cdot f_n \cdot (1 - f_e \cdot f_\mu^2) = 2 \cdot (1/8) \cdot (1 - 1/64) = 63/256 = 0,2461 \quad (\text{mesuré } 0,2458 \pm 0,0013 ; +0,2\sigma)$$

Trois présences que le cadre avait déjà — $1/16$, $1/2$ et la resommation de S26 —, jugées ailleurs ; aucune durée, aucun paramètre. Et le $1/2$ lui-même est dérivé : une face est un sens de la direction normale, en sortir est un demi-tour, et la projection sur l'interface d'une rotation de phase uniforme donne exactement une moitié (section 4, l'équipartition de phase). Sous cette chaîne il ne reste aucun nombre posé : elle descend jusqu'à la phase. Contrôles : si le neutron resommait comme le proton ($1/12$), $Y_p = 0,229$ (-13σ) ; sans perte, $0,250$ ($+3\sigma$). La nucléosynthèse standard, avec sa cinétique et la durée de vie du neutron, donne $0,2467$. Statut : mécanisme candidat fort — deux lectures nommées (la part née neutron est f_n ; la perte est une tentative), un juge, Y_p . Le rayon de charge du neutron, où le même $1/8$ apparaît, n'est pas un second juge indépendant : il est calculé avec l'énergie du nucléon mesurée, et l'identité des deux rôles de f_n — facteur de resommation

d'une énergie de coquille, fraction de nucléons nés neutrons — n'est pas démontrée. Ce qui reste : le deutérium, qui dépend du nombre d'enroulements — un contenu mesuré, non dérivé — et n'est pas une dette du cadre ; le lithium, laissé.

La température du fond diffus — la même échelle que la naissance. Le fond diffus cosmologique est le rayonnement émis par le régime transitoire de stabilisation de l'interface. Sa température ne se déduit, dans la cosmologie standard, ni de l'expansion ni de l'âge : c'est un paramètre indépendant, sans relation connue à la densité du vide. Le cadre en propose une : la densité du vide exprimée en rayonnement ($\rho_\Lambda = a_{\text{rad}} \cdot T_\Lambda^4$) donne $T_\Lambda = 28,9 \text{ K}$; le rapport ρ_Λ/ρ_γ vaut $e^{(9,449)}$, et $3\pi = 9,425$ — trois demi-tours de π en densité, un par champ. Chaque champ, en se stabilisant, coûte un demi-tour de densité ; le fond diffus est le dernier échelon de l'échelle des demi-tours qui compte aussi la naissance de l'interface (S28) :

$$T_{\text{CMB}} = T_\Lambda \cdot e^{(-3\pi/4)} = 28,93 \text{ K} \times e^{(-2,356)} = 2,742 \text{ K} \quad (\text{mesuré } 2,7255 \text{ K} ; +0,6 \%, \text{ dans la marge de } \rho_\Lambda)$$

Contrôles : deux demi-tours donneraient 6,0 K, quatre 1,25 K — le trois est seul. Le demi-tour se compte ici en densité (e^π par champ), soit $e^{(\pi/4)}$ par champ en température, le $\frac{1}{4}$ étant l'exposant de la cascade ($a \propto \rho^{(-1/4)}$) ; la raison « un demi-tour par champ » est posée, non dérivée — comme la règle de S28 dont elle est le pendant. Statut : mécanisme candidat, un nombre natif, zéro paramètre, jugé à 0,6 % ; ce qui le tue : une valeur de ρ_Λ hors de $5,3 \times 10^{-10} \pm 2 \%$, ou une dérivation du compte donnant autre chose que trois.

Les relations du cadre entre ses grandeurs — chacune avec son statut, sa vérification d'unités en annexe, et sa section de développement.

3.1 L'équation de champ — et la superposition offerte

$(3\sigma/c^2) \cdot \partial_t^2 u - 3\sigma \nabla^2 u + \kappa \nabla^4 u = -\rho_E$ — le déplacement u de l'interface répond à la densité d'énergie locale (une pression : $\text{J/m}^3 = \text{N/m}^2$), avec la tension σ des trois champs et une rigidité de courbure κ . Forme statique exacte : $\sigma \cdot \text{Tr}(K) = \rho_E$. L'équation est LINÉAIRE dans u : toute combinaison de solutions est solution — le principe de superposition n'est pas un postulat quantique ajouté, c'est une propriété mécanique du milieu. [Dérivé de P2–P4 ; annexe A.]

3.2 La réponse saturante

$T = k_F \cdot \delta(r^2) / (1 + \beta \cdot \delta(r^2))$ — la réponse de l'interface à une densité croissante sature. C'est la seule non-linéarité du cadre, et elle porte deux frontières : le rayon de charge constant des isotopes du calcium (^{48}Ca , section 9) et la limite quantique-classique (section 10). [Forme dérivée, calibration déclarée ; annexe A.]

3.3 La cascade — l'échelle qui s'adapte

$a(\rho_E) = (\hbar c / \rho_E)^{1/4}$ — la cellule du milieu se resserre où l'énergie se concentre. Au repos (vide), la cellule vaut $a = \sqrt{(\kappa/\sigma)} = 29,2 \text{ } \mu\text{m}$; c'est l'échelle de résolution du milieu : rien n'est distingué en dessous, tout s'y moyenne. [Dérivé ; annexe A.]

3.4 L'ancre du vide

$\rho_\Lambda = \sigma \cdot k$ — la densité d'énergie du vide EST le point zéro de l'interface coupé à son échelle propre. C'est l'unique ancre dimensionnelle du cadre : une seule mesure (ρ_Λ) fixe σ , et tout le reste suit. Le point zéro par mode : $\langle v_q^2 \rangle = \hbar/(2\rho_i c q)$, avec $\rho_i = 3\sigma/c^2$. [Identification déclarée, unique ; section 6.]

3.5 Les échelles dérivées

De σ et a suivent, sans nouveau paramètre : la portée gravitationnelle $R_\Sigma = 3\sigma/\rho_\Lambda$; la tension maximale $T_{\max} = \sigma/R_{\min}$; la frontière de saturation $\rho_{\max} = \sqrt{3} \cdot \sigma/(a \cdot c^2) = 27,0 \text{ g/cm}^3$; la variable de saturation $\varepsilon = \rho \cdot E \cdot a/(\sigma \sqrt{3})$ (linéaire pour $\varepsilon \ll 1$, saturé à 1) ; la taille critique L_c . [Dérivées ; annexe A, chaque nombre refaisable.]

3.6 La loi de capacité

$n(x) = 9\sqrt{(1+x^2/3)}/x^5$ — combien de modes une région de taille x peut porter. Elle gouverne l'escalier des masses et ses bornes (section 9). [Dérivée ; théorème des deux bornes en section 4.]

3.7 Le recouvrement de configurations

W — le recouvrement des configurations de deux branches d'une superposition. Une rectification de statut, importante : W mesure l'ORTHOGONALITÉ des branches (ce qu'une superposition bien séparée est), non leur décohérence — le milieu ne décohère pas ses propres excitations (S23, section 10). W n'a pas de forme fermée dans ce document : ce qui est établi est son rôle, mesurer l'orthogonalité des branches, et non une expression.

3.8 Le couplage gravitationnel — dérivé

$G = c^4 \cdot \rho_\Lambda / (12\pi\sigma^2)$ — la constante de Newton n'est pas une entrée : elle est une relation entre l'ancre du vide et la tension. Et la gravité newtonienne elle-même est le terme croisé des énergies : $E_{\text{int}} = -E_1 E_2 / (12\pi\sigma r)$. [Dérivé ; §3.12bis, §3.12ter.]

3.9 Le potentiel complet — la prédiction de courte distance

Le potentiel est newtonien multiplié par $[1 - e^{(-\sqrt{3} \cdot r/a)}]$ — $\alpha = -1$ exactement, portée $\lambda = 16,9 \text{ } \mu\text{m}$: sous l'échelle de cellule, la gravité s'éteint. Une prédiction sans paramètre libre, confrontée à la littérature des balances de torsion. [Dérivé ; §3.12bis.]

3.10 Le seuil galactique

$a_0 = (5/48) \cdot c^2 k = 1,203 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$ — et sous ce seuil, $g_{\text{obs}}/g_N = 1 + 0,323/\sqrt{x}$. Le seuil que d'autres cadres posent empiriquement est ici dérivé de la courbure de fermeture. [Dérivé ; §3.7bis.]

3.11 Deux identités de cohérence

La composition des cadences à plusieurs corps est multiplicative (conséquence directe de la forme statique de l'équation) ; et le critère de stabilité gravitationnelle L_c coïncide identiquement avec la longueur de Jeans — le cadre retrouve la physique des effondrements sans l'importer. [Dérivés ; §0c.7bis, section stabilité.]

4. Les théorèmes

Ce que le cadre démontre. Un théorème ne se discute pas : il se réfute par contre-exemple ou s'accepte.

4.1 Les théorèmes de structure

T1 — L'équilibre de jonction : $\mathbf{b} = \mathbf{1}$. L'aire totale est conservée à la jonction triple, et la tension ne couple qu'au singulet. (Le coefficient central du cadre n'est pas un choix : il est forcé.)

T2 — La décomposition $3 = 1 \oplus 2$. Les trois déplacements se séparent en un singulet rigide — qui porte l'acoustique et la gravité — et un doublet mou ; le singulet est la génération lourde. (Toute la physique du cadre se répartit sur ces deux secteurs.)

T3 — L'exclusion de masse : la symétrie S_3 interdit à une source scalaire — la masse — de solliciter le doublet, car $1 \otimes 2$ ne contient pas d'invariant. (Pourquoi la gravité ne voit qu'un seul canal.)

T4 — La signature lorentzienne est forcée par la stabilité (P3) et la persistance de l'interface — c'est la démonstration de P6 — et la structure 3+1 de l'espace-temps en découle (P7). (L'espace-temps n'est pas posé : il est démontré.)

T5 — L'ancre est insensible à la finitude de l'univers : le résidu de fermeture est d'ordre $(a/R_\Sigma)^4$, et il n'existe aucune circularité entre ρ_Λ et R_Σ . (L'ancre du cadre est propre.)

4.2 Les théorèmes de la gravité

T6 — La compensation newtonienne exacte : pour le puits, les parts radiale et de front de la tension se compensent exactement — la gravité moyenne est rigoureusement newtonienne ; sous le seuil, le terme croisé pèse la seule énergie d'aire, à $x/8$ près.

T7 — L'identité géométrie = gravité : deux chaînes internes sans ingrédient commun (l'énergie du terme croisé ; l'eikonale des ondes de matière) convergent — la géométrie de Σ est la gravité des masses. Identité vérifiée, étendue par secteurs à l'équivalence, aux horloges, à la lumière et aux ondes gravitationnelles, dont le porteur est le singulet, imposé par leur non-dispersion observée.

T8 — La composition des cadences donne $g_{00} = -e^{(2\Phi/c^2)}$, d'où $\beta = 1$ exactement — et la précession de Mercure retrouvée : 43,0 secondes d'arc par siècle.

T9 — L'orientation de l'interface est unique — l'antimatière n'est jamais primordiale — et les trois orientations sont fixées au même événement de stabilisation. (L'asymétrie matière-antimatière est structurelle.) Et la correspondance est comptée : une variété 3+1 possède exactement trois orientations à fixer, et il existe exactement trois symétries discrètes — C, P, T — que le théorème CPT relie.

T10 — Aux limites, l'espace et le temps subissent le même sort par co-émergence : ce qui a émergé reste, plus rien de nouveau n'émerge — et l'absence conjointe de singularité, d'horizon et d'effondrement d'onde entraîne la conservation de l'information : le paradoxe ne se pose pas.

4.3 Les théorèmes du secteur des particules

T11 — L'opposition : pour une résonance entraînée sous sa fréquence propre, la réponse est en opposition exactement de 180° — un signe, non un angle approché : topologique, robuste à l'amortissement. (Le signe de la charge devient un fait de structure — section 7.)

T12 — L'échelle bornée : $e^{\Lambda K} = 295 < 1836 < 3551$ — le rapport des masses proton/électron est encadré entre deux échelons de l'escalier leptonique : le nucléon n'est pas sur l'escalier. (Encadré n'est pas dérivé — la valeur 1836 reste une dette, dite en clair.)

T13 — Le spin-statistique : une excitation de l'interface à deux faces porte spin demi-entier, et l'échange de deux telles excitations donne -1 — démontré par deux routes indépendantes (le revêtement double des faces ; le tressage des enroulements). Ce qui est un postulat vérifié dans le Modèle Standard est ici un théorème de géométrie.

T14 — Les deux bornes de la capacité : la loi de capacité borne l'exposant du col dans l'intervalle $[0,382 ; 0,424]$ — fixant par théorème ce que le col peut et ne peut pas porter dans l'escalier des masses.

T15 — Le rang de la route géométrique : les invariants géométriques de l'interface ont rang un ou trois, jamais huit — l'algèbre des forces ne peut pas vivre dans la géométrie de Σ ; sa demeure est le transport des amplitudes (section 8).

T16 — La préservation du coût : le coefficient du troisième invariant ($c_3 = \frac{1}{2}$) n'est pas déplacé à l'ordre quadratique par l'auto-interaction non-abélienne, qui commence au cubique. (Le fondement de l'unification à l'ordre quadratique — section 8.)

T17 — La double topologie de la charge : $|q_e| = |q_p|$ exactement, par deux structures indépendantes (l'enroulement et la face) — une égalité de topologie, non un ajustement. (Vérifiée expérimentalement à 10^{-21} près.)

T18 — La non-localité du minimum : le minimum de l'escalier des masses ne peut être porté par aucune structure locale — il est un primitif du cadre (l'ancre), non un objet à dériver.

T19 — La conservation globale : $\int_{\Sigma} T \, dV = 0$. La tension redistribue l'énergie localement mais la somme totale est nulle — démontré par le théorème de la divergence sur Σ compacte sans bord. (Le « redistribue sans créer » de P4, prouvé.)

T20 — Le dernier étage : ce qui franchit la barrière des limites a perdu la stabilité et n'en revient pas ; aucun étage de matière ne peut arrêter la chute avant le fond, par le théorème des exposants et la borne c . (L'irréversibilité de la frontière — le socle de la classicalité de la matière dégénérée.)

T21 — Le rapport spatial/temporel de la métrique vaut 1 : un théorème de la métrique induite — le maillon qui ferme $\gamma = 1$ (la lumière est déviée par les deux parts, à parts égales).

T22 — La gaussianité du fond diffus : la somme de trois contributions de courbure indépendantes converge vers une gaussienne par le théorème central limite — la gaussianité observée du CMB n'est pas un accident : c'est une conséquence de $N = 3$, et le théorème central limite n'intervient qu'ici.

T23 — Un théorème négatif, gardé en clair : une cascade auto-similaire n'a pas de longueur préférée — aucune des routes internes ne peut dériver le taux d'enroulement R du secteur leptonique. C'est

ce théorème qui fonde le statut honnête du secteur : $R^* = 6,266$ y est une constante MESURÉE, déclarée comme telle, non expliquée. (Un cadre qui démontre ce qu'il ne peut pas dériver vaut mieux qu'un cadre qui le cache.)

Les annexes de calcul permettent de refaire T8, T12, T14 et T16 au chiffre.

5. Les énoncés-sources

Le matériau-source du cadre : des phrases de la source, datées, gravées avec leur lecture contraire, dont les calculs dérivent ensuite les conséquences. Chacune est un choix physique assumé — ni un théorème, ni une conjecture : un point de départ déclaré. (La numérotation vivante va de S9 à S28 ; S10 n'existe pas au document.)

S9 — Les trois déphasages. Le doublet porte trois combinaisons espacées d'un tiers de tour (120°) ; elles portent la charge et l'IDENTITÉ, non les écarts de masse. (La source du compte des générations.)

S11 — La charge sur le singulet. La charge d'un lepton vit sur la phase totale — le singulet — aveugle à la répartition ; la plénitude vaut un. (La source de l'incolore.)

S12 — La charge est une torsion de phase. Un enroulement, pas une substance. (La source du spectre des sept valeurs et de la quantification.)

S13 — L'interface et le comptage. L'interface est un résultat géométrique du croisement des trois champs — deux modes, deux faces, rien de plus ; mais elle se comporte comme un milieu qui compte.

S14 — Le demi-tour. Le « pas d'espace » du crible : la structure du $\frac{1}{2}$ dont l'holonomie rend $g = 2$ et le spin.

S15 — Les champs ne sont jamais au repos. σ n'est pas vide : le minimum est un primitif — l'ancre ρ_Λ ne se dérive pas, elle s'accepte. (La source de la décision d'ancre.)

S16 — Charge pleine, charge réduite. La charge pleine est l'objet saturé ; la charge réduite est sa résonance sur les champs. (L'unification de S11 et du spectre.)

S17 — L'équilibre de remplissage. Le remplissage d'une boucle est relatif au niveau d'énergie et aux propriétés locales ; il va jusqu'à la saturation de tension ; au-delà, la boucle se subdivise.

S18 — L'électron. L'électron est la résonance que le nucléon entretient sur les champs ; aucune descente d'échelle ne les relie, et la question d'une telle descente est donc sans objet.

S19 — La longueur interne d'une source est la longueur de sa phase. Pas une distance dans l'espace : la longueur de l'onde enroulée — le critère du tour complet.

S20 — Le mécanisme complet source→note. Le proton fait vibrer les trois champs ; sur l'interface se trouve un électron — une oscillation des champs sous-jacents, de phase opposée au proton (l'opposition exacte : théorème T11).

S21 — Les deux faces. « Une torsion de phase est sur une face, la torsion opposée sur l'autre. » Le signe de la charge est géométrique : il est le sens de la sortie normale. Le positron est la torsion de l'autre face.

S22 — La fermeture diluée du col. Le col d'un lepton ne se ferme pas contre une paroi propre : il s'évase jusqu'à la première limite de l'arène.

S23 — L'interface est la somme des trois champs ; une excitation épuise ses degrés de liberté, point zéro compris. Il n'existe aucun tiers pour enregistrer les branches d'une superposition. (La source du zéro de décohérence — section 10.)

S24 — Les deux échelles de compensation de charge. Le proton (torsion nette +1) induit une résonance en opposition exacte qui se stabilise à distance — l'atome. Le neutron (torsion nulle) compense en interne : ses torsions se répartissent radialement, négatives en périphérie, positive au cœur — aucune résonance induite. Un seul mécanisme d'opposition, deux échelles de compensation. (Conséquence vérifiée au signe, sans paramètre : le rayon de charge carré du neutron est négatif, comme mesuré.)

S25 — L'étalement par résidence. Une excitation qui réside sur un champ s'étale spatialement sur la structure de cellules de ce champ. Les trois champs étant distincts (P1), les étalements des trois enroulements d'un nucléon sont indépendants — leur composition est en quadrature ; la médiation par l'interface est celle de la masse (T3) : le bord de masse est cohérent, le bord de charge est triple. (Conséquence, vérifiée en aveugle avant gravure : la largeur du bord de charge vaut $\sqrt{3} \times$ la cellule locale — annexe M.)

S26 — Le changement de face. Le proton, de présence entière, change de face en restant dans l'interface : il traverse l'épaisseur par le plan médian ; l'électron émis, de présence $1/16$, est ce qui sort. Le coût du changement se resomme sur les tentatives de franchir le plan médian, pesées $\frac{1}{2}$ par face engagée : deux faces pour un changement complet (le proton, $1/12$), une pour une compensation interne (le neutron, $1/8$). Le plan médian est le même lieu que celui de l'énergie faible : la moitié de l'épaisseur.

S27 — La présence des sources. La réponse du milieu à une échelle donnée n'est portée que par les enroulements présents à cette échelle : un enroulement dont l'énergie propre dépasse celle de la sonde n'est pas résolu et ne compte pas parmi les sources. Le compte des sources suit la présence — $b_0 = 11 - (2/3) \cdot N$, N le nombre d'enroulements présents ; les énergies où les enroulements lourds deviennent présents sont leurs masses, déclarées. (Énoncé-source : P5 dit l'intermittence, S27 pose le seuil d'échelle ; son contenu coïncide avec le découplage standard, non repris.)

S28 — La naissance de l'interface comme compte à rebours du repère. L'interface naît par la différenciation des douze rotations de son repère. À la borne, les douze sont une : le repère est entier, et aucune interface ne tient au-dessus. En descendant depuis la borne, comptée en demi-tours de π échelons depuis le plan médian, chaque structure se sépare lorsque le compte atteint son propre nombre dans le repère : à onze, le porteur des champs s'individualise (faces-champs) ; à neuf, les transitions entre les trois champs sont formées (phase-champs) ; à huit, les huit gluons existent et chaque face a fait un demi-tour dans chacune des quatre directions — l'interface se referme, l'angle de mélange se fixe. Le plan médian, centre de l'interface, est à $L/2$ au-dessus de l'objet-limite, l'électron (prédiction jugée par l'énergie faible). La borne est à douze demi-tours du centre. La normalisation propre au cadre est $M_P/V(12\pi)$, celle de sa loi de gravité : la borne y tombe à 2,6 %. Planck n'entre pas dans la structure ; la valeur de σ , elle, est lue sur la gravité.

6. Les constantes et l'ancre

Trois ancres fixent tout le dimensionnel, et deux seulement sont mesurées directement — l'économie du cadre, là où le Modèle Standard demande dix-neuf paramètres. L'ancre cosmique est la densité d'énergie du vide, $\rho_\Lambda \approx 5,3 \times 10^{-10} \text{ J/m}^3$ — mesurée, déclarée (S15) : d'elle découlent k , les échelles a et λ , R_Σ , la frontière de saturation et le seuil galactique. L'ancre de la matière est la densité de la matière au plafond, ρ_{nuc} — fixée de l'intérieur, sa seule entrée mesurée étant le compte de saturation n_0 : d'elle suit l'échelle nucléaire $a_{\text{nuc}} = 1,0635 \text{ fm}$. La troisième ancre est la tension σ , et sa valeur n'est pas mesurée indépendamment : elle est lue sur la gravité, $\sigma = \sqrt{c^4 \rho_\Lambda / 12\pi G}$, ce qui fait de G une entrée de tout ce qui passe par elle. L'écart entre les deux ancres d'échelle — $L = 24,04$ échelons — est l'axe que parcourt le photon d'interaction : il porte la constante de structure fine. On déduit tout ce qui vit entre les ancres ; on ne déduit jamais une ancre depuis l'autre (le théorème de la cascade l'interdit).

$$\rho_\Lambda \rightarrow \sigma, k, a, \lambda, R_\Sigma, \rho_{\text{max}}, a_0, c_a$$

Concrètement : la tension $\sigma \approx 4,1 \times 10^{16} \text{ J/m}^2$ (via $G = c^4 \rho_\Lambda / 12\pi \sigma^2$), la courbure de fermeture $k = \rho_\Lambda / \sigma$, l'échelle de cellule $a = 29,2 \text{ } \mu\text{m}$ et sa réduite $\lambda = 16,9 \text{ } \mu\text{m}$, le rayon de fermeture $R_\Sigma \approx 2,3 \times 10^{26} \text{ m}$, la frontière quantique-classique $\rho_{\text{max}} = 27 \text{ g/cm}^3$, le seuil galactique $a_0 = 1,203 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$, et la vitesse propre $c_a = c/\sqrt{3}$. Aucun de ces nombres n'est un réglage : tous sont des conséquences de l'ancre unique.

La tour des masses — un système de coordonnées honnête. Le minimum (ρ_Λ) est mesuré et sert d'ancre ; la hauteur totale de la tour (24,04) est dérivée ; l'extrémité dense (1,0635 fm) est mesurée via la densité nucléaire ; le trait de l'électron est mesuré via la masse de l'électron. Mais la partition de la tour — où se placent les masses entre les deux bouts — n'est pas dérivée, et le document le dit en clair plutôt que de l'habiller : c'est un système de coordonnées, pas une prédiction.

Deux constantes de secteur, mesurées et déclarées. $d = 4,9^\circ$ (la fluctuation du cercle des générations) ; le taux d'enroulement, $R = 2\pi$, est depuis l'identité dilatation-enroulement, énoncé-source jugé ($R^* = 6,266$ mesuré, à 0,27 %). Une constante mesurée par secteur, dite telle quelle : c'est le prix honnête du secteur des masses.

7. La charge et l'électromagnétisme

La charge — une torsion de phase, non une substance. La charge électrique n'est pas une « quantité de quelque chose » collée à la particule : c'est une torsion topologique de la phase des trois champs. Quand la phase relative d'une transition entre champs s'enroule, le déphasage est contraint — élevé au cube, il vaut l'unité, ce qui n'autorise que trois valeurs (le groupe Z_3). De là sort le spectre complet et fermé des charges :

$$0, \pm 1/3, \pm 2/3, \pm 1 \quad \text{— et rien d'autre}$$

Les valeurs fractionnaires sont les enroulements qui résident champ par champ (les quarks) ; les entières, les enroulements de la phase totale (les leptons). La quantification de la charge — un mystère posé ailleurs — est ici un simple fait de topologie. (Annexe H)

Le signe — les deux faces de l'interface. L'interface a deux faces. Une source tord la phase sur l'une ; la réponse, sur l'autre, est en opposition exacte de 180° — un signe topologique, insensible à l'amortissement (théorème T11). Le signe de la charge de l'électron est donc un fait de structure, non un choix. Le positron est la même torsion, lue sur l'autre face ; et l'égalité exacte $|q_e| = |q_p|$, vérifiée à 10^{-21} près, tombe de cette double topologie (T17).

Le photon — la lumière est une rotation. Le photon n'est pas un champ posé : c'est la rotation du repère interne des trois champs le long de l'interface. Sa courbure est le commutateur des deux façons dont l'interface sait se courber :

$$F = (i/2)[K_+, K_-]$$

Sa masse nulle est dérivée (la direction de jauge est plate), et ses deux polarisations aussi. Le prix de son interaction est le troisième invariant, $c_3 = \frac{1}{2}$. La dérivation complète — nature composite, deux hélicités, masse nulle — est donnée à l'Annexe A.

La constante de structure fine — $1/137$, de géométrie pure. La constante qui fixe la force de l'électromagnétisme tombe de la géométrie, sans aucun calage :

$$\alpha^{-1} = 2\pi(L-2)(1-d^2) = 137,44$$

Soit un écart de 0,3 % à la valeur mesurée (résidu nommé). Le retranchement de deux échelons est dérivé : une interaction électromagnétique a deux extrémités — un photon émis à l'une, absorbé à l'autre — et chaque extrémité pèse le trajet par la force qu'elle exerce, en $1/r^2$. Sur un axe d'échelle, ce poids décroît d'un facteur e par échelon, et son centre de gravité tombe exactement à un échelon du bout ; chaque vertex retranche donc un échelon, et il y en a deux. Et son évolution avec l'énergie — la variation avec l'échelle — est dérivée elle aussi : la pente leptonique vaut $2/(3\pi) = 0,2122$ par échelon, obtenue du spectre propre du cadre sans particules virtuelles, avec $g = 2$ natif (l'holonomie du demi-tour). (Annexes B et C)

8. Les trois forces

8.1 Ce que les trois forces ont de commun

L'unification par la règle commune. Unifier, dans ce cadre, n'est pas faire coïncider trois nombres en un point : c'est montrer que les trois forces obéissent à la même règle. Même origine — les trois algèbres sont les trois structures d'un seul repère (la phase, les faces, les champs : $1 + 3 + 8$, les douze rotations), non trois groupes posés. Même poids à la naissance — le coût statique $\frac{1}{2}$ pour chacune, ce que chaque rendez-vous réalise. Même loi de variation — chaque force change avec la finesse du regard selon le compte de ses sources présentes, le porteur en plus, une part fixe par enroulement présent pesée par sa charge propre (S27, avec le porteur de chaque structure à $(11/3)$ fois le nombre d'éléments qu'elle permute — les pentes des trois forces produites, jugées au Z : l'électromagnétique à $-0,8\%$, la forte à $+2\%$, l'angle faible à -1%). Le point de croisement unique que cherchent les grandes unifications est une conséquence possible d'une règle commune ; ici la règle produit trois rendez-vous, parce que la naissance de l'interface est une descente — et une règle commune explique pourquoi il n'y a pas de point, là où un point serait une coïncidence à expliquer.

L'algèbre — les trois forces sortent d'une seule structure. Les invariants géométriques de l'interface ont rang un ou trois, jamais huit : l'algèbre des forces ne vit pas dans la géométrie de l'interface, mais dans le TRANSPORT des amplitudes. Une excitation se répartit sur les trois champs (trois amplitudes complexes) ; comme aucun champ ne porte de tension privilégiée, le groupe d'invariance est $U(3)$ entier — neuf rotations — et les deux faces en portent trois de plus : douze rotations, un seul système :

$$U(3) \times su(2) = u(1) \oplus su(3) \oplus su(2)$$

— l'algèbre du Modèle Standard, dérivée. La force forte est l'équivalence exacte des trois champs : le $su(3)$ existe PARCE QU'aucun champ n'est privilégié. À l'échelle d'unification, l'angle de mélange se calcule sur le contenu en charges d'une génération :

$$\sin^2\theta_W = 3/8$$

(annexe C ; ce que ce calcul suppose est dit en S.6)

8.2 La force électromagnétique : la phase

La phase est la structure la plus simple des trois : le singulet, la part commune aux trois champs, un seul générateur — $u(1)$. Sa charge est le nombre d'enroulements portés par la phase, entier pour un objet symétrique (le lepton), fractionnaire pour une résidence sur un champ (le quark) ; son signe est l'appartenance de face (S21). Son porteur est le photon : les deux déphasages relatifs du doublet, deux polarisations, sans masse (section 7). Son intensité est la constante α , dérivée depuis l'écart entre les deux ancres : $\alpha^{-1} = 2\pi(L - 2)(1 - d^2) = 137,44$ ($0,3\%$). Sa variation avec la finesse du regard suit la règle commune (8.4) : la phase n'a pas de porteur qui se voit lui-même ($u(1)$ est abélien), donc sa pente est le seul compte des sources présentes — une part $2/(3\pi)$ par enroulement chargé, pesée par sa charge au carré et ses couleurs ; depuis 137,44 en bas, elle rend $1/\alpha = 126,97$ au Z, mesuré

127,95 (−0,8 %). Au-dessus du Z, la phase se sépare des faces : sa charge propre y est l'hypercharge, fixée par les faces ($T_3 = \pm\frac{1}{2}$) et Q, et sa pente est $b_1 = -4$ (le contenu natif, sans doublet de Higgs).

$$\alpha^{-1} = 2\pi \cdot (L - 2) \cdot (1 - d^2) = 137,44 \quad (\text{mesuré } 137,04)$$

Le coût unique et les deux running. Le coût de tout le système est fixé par un seul poids statique — le troisième invariant, $c_3 = \frac{1}{2}$, non déplacé à l'ordre quadratique (théorème T16). Les deux running opposés en découlent : la matière (fermionique) ÉCRANTE, c'est le running de la lumière ; les porteurs non-abéliens (bosoniques) ANTI-ÉCRANTENT, c'est le signe de la liberté asymptotique. La mécanique est explicite — le moment ($3\kappa^2 = 12$) écrase l'orbital (1), et le onze émerge :

$$b_0 = 11 - (2/3) \cdot 6 = 7$$

— le nombre mesuré de la chromodynamique. (Annexes B et D)

8.3 La force forte : les champs

Les multiplicités — trois couleurs, comptées. Une charge fractionnaire doit spécifier sa résidence : trois exemplaires ($N_c = 3$). Et la règle de sélection est dérivée — fractionnaire $\leftrightarrow$ coloré, entière $\leftrightarrow$ incolore —, ce qui explique pourquoi les quarks sont colorés et les leptons non. (Annexe I)

Les gluons — des passages, non des états. Un quark porte une couleur : c'est un état sur un champ. Un gluon, lui, porte une couleur ET une anticouleur : il n'est pas un état sur un champ, mais une TRANSITION d'un champ vers un autre — un passage. Chercher les gluons parmi les états serait une erreur de catégorie ; ils sont parmi les passages. Avec trois champs, une transition va d'un champ quelconque vers un champ quelconque, lui-même compris, et les trois qui ne changent rien sont les diagonales :

$$3 \times 3 = 9 \text{ transitions, moins 1 (qui ne change rien) = 8 gluons}$$

Le couplage des gluons entre eux tombe de la même structure : le commutateur de deux transitions est encore une transition — c'est exactement l'énoncé qu'un gluon se couple à un gluon, le vertex à trois gluons que la mesure au LEP a confirmé (et qui exclut toute théorie de jauge abélienne).

Le confinement — pourquoi la couleur ne s'isole jamais. On n'observe jamais un quark libre ni un gluon libre — seulement des combinaisons incolores. Le cadre en donne la raison : ce qui décide n'est pas un potentiel signé, mais le coût énergétique de la déformation. La raideur de l'interface n'a pas de terme de rappel, ce qui produit un potentiel LINÉAIRE :

$$E(r) = T_{\text{rappel}} \cdot r$$

Séparer deux couleurs coûte alors une énergie qui croît sans borne avec la distance : au-delà d'un point, il devient moins coûteux de créer une nouvelle paire que de tirer davantage — la couleur reste toujours enfermée. Le lepton, singulet de couleur, n'a rien à confiner : d'où sa ponctualité.

L'échelle forte et la force de rappel des champs. L'échelle de la force forte n'est pas à dériver : elle est la seconde ancre — le plafond de la matière, $\hbar c/a_{\text{nuc}} = 186 \text{ MeV}$, l'ordre de Λ_{QCD} .

Le confinement a un lieu natif : la longueur au-delà de laquelle un motif coloré (un doublet ouvert) ne peut plus être soutenu, $\ell_c = a/\sqrt{3} \approx 0,61 \text{ fm}$ — la cellule réduite, celle qui règle aussi le bord des noyaux, la portée gravitationnelle courte et la masse minimale d'un trou noir ; la portée de rappel mesurée est $\approx 0,47 \text{ fm}$.

Écarter deux couleurs, c'est déplacer deux champs l'un par rapport à l'autre — le doublet, dont la raideur n'a pas de rappel à grande distance : l'énergie croît en ligne droite, chaque champ voulant reprendre sa place.

La forme de ce rappel est dérivée (linéaire, tension positive sans convention) ; sa grandeur — ce que la chromodynamique nomme la tension de corde, et qui est ici la force de rappel constante des champs déplacés — suit d'un compte de champs : les trois champs, identiques, résistent ensemble, le poids de la source est l'objet entier (les trois enroulements sont inséparables) et la longueur propre du doublet est sa réduite — d'où $T = 3\sqrt{3} \cdot E_N^2 / (8\pi\hbar c) = 924 \text{ MeV/fm}$, soit $v\sigma = 427 \text{ MeV}$ contre 420–440 mesuré (Regge).

Une seule combinaison sur douze tombe dans la bande ; les trois choix sont motivés avant le chiffre ; c'est un candidat fort, dit tel quel — ce qui manque pour « dérivé » est un second juge indépendant et la dérivation du poids de la source depuis l'équation.

La masse du nucléon. La réponse de l'interface est $3\sigma q^2 + kq^4$: la tension (le singulet) domine aux grandes échelles, la rigidité (le doublet) aux petites ; elles se rencontrent et s'inversent au lieu, $\ell_c = a/\sqrt{3}$ — le seul endroit de l'échelle où un objet fait de trois champs ne paie ni le surcoût de l'une ni celui de l'autre. Une résidence — un enroulement coloré — vit sur le doublet, dont c'est la longueur ; elle porte l'énergie du lieu, $\hbar c/\ell_c = 321 \text{ MeV}$. Le nucléon est trois résidences, une par champ :

$$E_N = 3 \cdot \hbar c / \ell_c = 3\sqrt{3} \cdot \hbar c / a = 964 \text{ MeV} \quad (\text{mesuré } 939 ; +2,7 \%) ; \text{ sans masse en} \\ \text{entrée : } m_N = (3\sqrt{3})^{4/3} \cdot \hbar c \cdot n_0^{1/3} = 964 \text{ MeV}, n_0 = 0,16 \text{ fm}^{-3}$$

La densité de saturation n_0 est un nombre par volume, sans masse : la masse du nucléon en sort seule, à 3 %. Le mur unique du cadre — la masse absolue, le rapport 1836 — s'ouvre par le haut, comme pour l'électron : non depuis la grammaire interne, mais depuis un lieu de l'échelle. Statut : candidat fort (le proton et le neutron, même compte ; les alternatives loin) ; le 2–3 % est la précision de l'ancre a .

La force entre deux couleurs à courte distance suit d'un mécanisme candidat : la réponse du milieu à une sonde (le couplage qui court), pesée par la présence de la couleur qu'on déplace — un tour de la cellule des couleurs coûte une moitié de présence par demi-tour, comme pour tout objet du cadre : la couleur au bord de sa cellule n'est là qu'une fois sur quatre.

Avec ce seul facteur, la force mesurée sur réseau de 0,05 à 0,6 fm est reproduite à 5 %, sans paramètre.

Un quark n'est pas un objet : une résidence sur un champ ; l'éloigner de l'intersection, c'est l'absenter — les présences aux tours entiers (1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{16}$) sont celles des leptons, sur les mêmes champs.

$$T_{\text{rappel}} = 3\sqrt{3} \cdot E_N^2 / (8\pi \cdot \hbar c) = 924 \text{ MeV/fm} \quad (\sqrt{T} \cdot \hbar c = 427 \text{ MeV} ; \text{Regge 420–440})$$

$$F(r) = T + (4/3) \cdot \alpha(\hbar c/r) \cdot f(r) \cdot \hbar c/r^2 \quad \text{avec} \quad f(r) = (1/2)^{(2r/\ell_c)}$$

8.4 La force faible : les faces

L'énergie faible — ce qu'elle est, vue de l'interface. Le lecteur connaît la force faible sous sa forme standard : une interaction de très courte portée, portée par les bosons W et Z (80 et 91 GeV), dont l'intensité effective à basse énergie est la constante de Fermi $G_F \approx 1,17 \times 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$, et dont l'échelle — 246 GeV — est posée par le mécanisme de Higgs sans que rien n'en explique la valeur. Le cadre reprend chacun de ces objets et lui donne un lieu. La force faible est le changement de face d'un enroulement : l'interface a deux faces géométriquement distinctes, l'appartenance de face est la charge (S21), et le courant chargé — électron $\leftrightarrow$ neutrino, la transformation du neutron en proton — est le déplacement d'un enroulement d'une face à l'autre, à l'intérieur de l'interface (S26). Les générateurs de su(2) sont ceux des deux faces ; c'est pourquoi la force faible, et elle seule, change la charge.

L'échelle faible est le plan médian. Pour changer de face, un enroulement traverse l'épaisseur de l'interface — comptée en échelons d'échelle entre ses deux ancres (la tour, $L = 24,04$ échelons, la même grandeur qui porte la constante de structure fine) — et il bascule au plan médian, le seul lieu qui ne privilégie aucune des deux faces équivalentes. L'énergie faible est donc l'énergie qu'il faut pour porter l'objet-limite de l'interface — l'électron, à la borne de présence (1/16) — jusqu'à ce plan médian : $L/2$ échelons au-dessus de son énergie de repos.

$$E_{\text{médian}} = m_e \cdot e^{(L/2)} = 0,511 \text{ MeV} \cdot e^{(12,018)} = 84,7 \text{ GeV}$$

Ce nombre n'est ni le W ni le Z : il est leur moyenne géométrique, $\sqrt{M_W \cdot M_Z} = 85,6 \text{ GeV}$, à 1,1 % — l'échelle du porteur de face avant que l'angle de mélange ne le partage en chargé et neutre.

L'angle, dérivé (3/8 à l'unification, descendu à 0,231), fait le reste : $M_W = 79,6 \text{ GeV}$ (–1,0 %), $M_Z = 90,3 \text{ GeV}$ (–1,0 %), $v = 244,3 \text{ GeV}$ (–0,8 %), $G_F = 1,185 \times 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$ (+1,6 %). L'échelle faible, entrée libre du Modèle Standard, devient une conséquence des ancres du cadre, de la masse de l'électron et de la géométrie des deux faces.

La forme observée. L'interaction faible n'a pas une intensité fixe : elle croît avec l'énergie (le régime de Fermi), culmine aux résonances W et Z, puis décroît. Le cadre a dérivé la forme de ce comportement avant d'en connaître le centre : le mode du porteur $\omega^2 = k^2 - B$ est instable sous le seuil B (le tour zéro ne propage pas, l'interaction s'amplifie), passe par son pôle à $k^2 = B$, et propage librement au-delà (l'effet retombe). Le plan médian dit où est ce centre : $B = (84,7 \text{ GeV})^2$. Et le mode de Higgs a son analogue natif — le module raide des amplitudes — sans qu'un champ scalaire soit ajouté.

Le prix de l'émission. Le même plan médian gouverne ce que coûte à un nucléon l'émission d'un électron. Le proton change de face en restant dans l'interface (présence entière) ; l'électron émis, intermittent (présence 1/16), est ce qui sort. Le coût, payé par la couche périphérique, se resomme sur les tentatives de franchir le plan médian, pesées 1/2 par face engagée : un changement complet engage les deux faces (le proton : 1/12 de sa coquille), une compensation interne une seule (le

neutron : 1/8). C'est ce qui ferme les rayons de charge du proton (−0,1 %) et du neutron (+0,5 %) — section 9, annexe N. Statuts, en clair : l'angle est dérivé ; l'échelle est un candidat fort à 1,1 % sous deux lectures nommées (l'épaisseur comme tour, la bascule au médian) ; la resommation est une conséquence de S26, énoncé-source ; le pourquoi du poids ½ par face (le seuil du muon) reste déclaré. Annexe O.

Ce qui génère la force faible. Le changement de face n'est pas réservé à la désintégration : à l'intérieur d'un noyau, un proton et un neutron peuvent changer de face en opposition — leurs deux déplacements s'équilibrent, rien ne sort. C'est l'interaction proton–neutron, absente entre deux protons ou deux neutrons, et sa signature est mesurée depuis 1947 : la résonance dipolaire géante, où tous les protons d'un noyau oscillent contre tous les neutrons (13–18 MeV dans les noyaux lourds). L'énergie de rappel de cette vibration est le coût d'asymétrie du noyau, lu indépendamment : ~19–21 MeV, au-dessus des 14 MeV que l'exclusion seule fournit — la différence est la part d'interaction, celle du changement de face à deux. La force faible, telle que le laboratoire la voit, est ce qui reste d'un changement de face quand il n'est pas équilibré par un partenaire : le même geste, payé seul, avec l'électron qui sort. Le secteur faible et la cohésion du noyau ont une racine commune.

Ce qui reste dû : dériver, sur la machinerie de S26, ce qu'un partenaire en opposition fait économiser — la grandeur de l'appariement.

La chiralité de la force faible. Le laboratoire ne voit le courant chargé coupler qu'à une seule main des particules — la violation de parité, un fait brut du Modèle Standard. Le cadre en donne la structure : un enroulement qui se déplace est une vis, et une vis a une main dès que deux sens sont verrouillés — le sens de sa rotation et le sens de son avance le long de son axe. Le second est dérivé : un tour est un pas de dilatation (le couplage dilatation-enroulement), l'électron émis avance vers le vide (S24), et l'axe d'échelle est l'axe radial (l'identité des trois axes, écrite pour le photon). Le premier est fixé par l'orientation de l'univers (l'ordre cyclique des trois champs, fixé à la stabilisation). D'où une seule main pour tout lepton de matière, la main opposée sur l'autre face (S21 : l'antineutrino, le positron), C et P retournant chacun la vis et CP préservée au niveau d'une vis isolée — la violation vit dans le mélange des trois résidences (S.12) — la structure observée du secteur faible.

Ce qui reste : un bit — le sens relatif entre l'orientation de la face et l'ordre cyclique des champs, fixé à la stabilisation mais non dérivé (le texte le déclare : l'asymétrie du minimum stable est douce et ne le fixe pas seule) ; et la main du neutrino absorbé, sans enroulement, à écrire par le bilan du courant. La chiralité du faible passe ainsi d'un fait brut à la conséquence d'une orientation primordiale, à un bit près ; le nom « gauche » est la convention de la face matière.

8.5 La règle de variation commune et les trois lignes depuis les ancrs

La règle S27. À une échelle donnée, la réponse du milieu n'est portée que par les enroulements présents à cette échelle — un enroulement dont l'énergie propre dépasse celle de la sonde n'est pas résolu et ne compte pas. La pente de chaque force, en $1/\alpha$ par échelon, est alors la différence entre ce que son porteur ajoute et ce que ses sources présentes retirent :

$$b_i(\mu) = (11/3) \cdot N_i - (2/3) \cdot \sum_{s \text{ présent à } \mu} T_i(s) \quad (N_i : \text{éléments permutés} - 3, 2, 0) ; \quad d(1/\alpha_i)/d \ln \mu = b_i(\mu)/2\pi$$

Le terme du porteur est dérivé par unité — $11/3 = (12 - 1)/3$, le moment du porteur ($3\kappa^2$ avec $\kappa = 2$) moins sa réponse orbitale — et multiplié par le nombre d'éléments que la structure permute : trois champs, deux faces, rien pour la phase (aucun porteur qui se voie lui-même). Ces nombres sont ceux du cadre (P1, S21) ; qu'ils coïncident avec les Casimirs de $su(3)$ et $su(2)$ est une conséquence de l'algèbre dérivée. Les sources pèsent selon la force : pour les champs, $(2/3)$ par enroulement coloré présent ($b_3 = 11 - (2/3)N$, $N = 3, 4, 5, 6$ selon la finesse) ; pour les faces, $1/3$ par doublet présent (douze doublets au contenu complet) ; pour la phase, la charge au carré fois les couleurs (en dessous du Z), l'hypercharge au carré au-dessus. Le mode de Higgs natif est un singulet : il ne compte pas. Ce qui en sort : $b_3 = 7$, $b_2 = 10/3$, $b_1 = -4$ — les nombres de la chromodynamique et de l'électrofaible, sans doublet de Higgs.

Les trois lignes depuis les ancres. Chaque force est attachée où le cadre l'attache : la phase en bas ($\alpha = 1/137,44$, dérivé), les champs au lieu du confinement (le plateau nu, 319 MeV), les faces par une seule condition — $\sin^2\theta_W = 3/8$ là où la phase et les faces se rencontrent (annexe C ; ce que ce calcul suppose est dit en S.6). Cette condition ne fixe pas à quelle énergie : ce nombre, l'échelle de la naissance, $\approx 10^{13}$ GeV, est le seul du secteur qui soit lu (sur l'angle mesuré au Z) et non dérivé. Tout le reste en découle, sans aucune valeur mesurée au Z en entrée :

$$1/\alpha(M_Z) = 126,97 \text{ (mesuré 127,95)} ; \quad \alpha_s(M_Z) = 0,120 \text{ (0,118)} ; \quad \sin^2\theta_W(M_Z) = 0,229 \text{ (0,2312)}$$

Les trois forces ne se rejoignent pas en un point : elles se rejoignent deux à deux — la phase et les faces à 10^{13} GeV, la phase et les champs à 2×10^{14} , les faces et les champs à 7×10^{16} (Annexe Q). Ce n'est pas un défaut : c'est la trace d'une naissance en descente, où chaque rendez-vous est le moment où deux structures cessent d'être égales — chacune au poids commun $1/2$.

Et la descente a un mécanisme candidat : comptés en demi-tours de π depuis le plan médian (le centre de l'interface), les trois rendez-vous sont à 11, 9 et 8 — les nombres mêmes du repère : $11 = 12 - 1$, le onze du porteur ; $9 = 3 \times 3$, les transitions entre trois champs ; $8 = 9 - 1$, les huit gluons, et deux faces par quatre directions. La naissance est le compte à rebours du repère qui se différencie, depuis la borne où ses douze rotations sont une — à 12 demi-tours : $2,0 \times 10^{18}$ GeV, contre la masse de Planck du cadre $M_P/V(12\pi) = 1,99 \times 10^{18}$ — 2,6 % (la normalisation en 8π , $2,4 \times 10^{18}$, est celle des équations d'Einstein, non celle du cadre).

Le point unique que cherchent les grandes unifications serait une coïncidence à expliquer ; la règle commune explique pourquoi il n'y a pas de point.

Ce qui reste dû : la phrase du cadre qui fait du compte à rebours un théorème (pourquoi ces nombres et non d'autres). Le tour d'espace (4π , l'épaisseur face à face de l'interface) et $L/2$ (la profondeur de l'objet-limite sous le centre) sont deux longueurs distinctes — l'électron est hors de l'interface, la matière est sur sa face du bas.

8.6 La masse de l'électron depuis les ancres

La masse de l'électron était, jusqu'ici, la constante déclarée du secteur leptonique : le cadre la prenait dans la nature sans rien en dire. Elle se calcule désormais depuis les trois ancras du cadre — la tension σ , la densité du vide ρ_Λ , la densité de la matière au plafond ρ_{nuc} — et depuis le compte des rotations du repère. La gravité n'entre pas comme donnée ; elle émerge des mêmes ancras. La chaîne tient en quatre pas.

Premier pas — la masse absolue des ancras. La tension et la densité du vide construisent une seule masse : $M_{\text{cadre}} = \sigma \cdot V(\hbar/(c^3 \rho_\Lambda)) = 1,98 \times 10^{18} \text{ GeV}$. C'est la masse de Planck du cadre — celle que définit la loi de gravité émergente $G = c^4 \rho_\Lambda / (12\pi \sigma^2)$ (section 3). La tension $\sigma \approx 4,1 \times 10^{16} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ est une ancre de structure ; sa valeur est aujourd'hui lue sur la gravité, et le rayon de fermeture R_Σ n'a pas de contrepartie observationnelle nommée — de sorte que M_{cadre} vaut numériquement $V(\hbar c / 12\pi G)$. Ce qui est testé ici est donc $e^{(-12\pi - L/2)} = m_e / M_{\text{cadre}}$, non l'absence de G . La seconde route vers σ , par l'expansion ($\sigma = \rho_\Lambda \cdot c / (\sqrt{3} \cdot H_0)$), n'est pas une vérification indépendante mais une contrainte : les deux routes coïncident si et seulement si $\Omega_\Lambda = 2/3$, et leur écart mesure l'écart à cette valeur.

Deuxième pas — la borne de la naissance. S28 place la borne de la naissance de l'interface, où le repère est entier (douze rotations), à douze demi-tours au-dessus du centre de l'interface, le plan médian. Un demi-tour vaut π échelons d'échelle : c'est la conversion du col leptonique, $R = 2\pi$ (un tour de l'enroulement = 2π échelons), posée et jugée à 0,27 % par le rapport muon/électron. La borne coïncide avec M_{cadre} à 3 %.

Troisième pas — le centre. Le plan médian se trouve à la moitié de la tour des ancras, $L/2 = 12,02$ échelons, au-dessus de l'énergie de repos de l'objet-limite, l'électron (S28 ; $L = \ln(a_{\text{vide}}/a_{\text{nuc}})$). Cette lecture est jugée par l'énergie faible : $m_e \cdot e^{(L/2)} = 84,7 \text{ GeV}$ contre $V(M_W \cdot M_Z) = 85,61$ à $-1,1 \%$.

Quatrième pas — la masse. On descend de la borne au centre (douze demi-tours, $e^{(-12\pi)}$), puis du centre à l'objet-limite ($e^{(-L/2)}$) :

$$m_e = \sigma \cdot V(\hbar/(c^3 \rho_\Lambda)) \cdot e^{(-12\pi - L/2)} = 1,976 \times 10^{18} \text{ GeV} \times e^{(-49,74)} = 0,509 \text{ MeV}$$

(mesuré : 0,511 MeV ; -0,4 %)

Entrées : σ , ρ_Λ , ρ_{nuc} — les trois ancras, toutes des propriétés des champs — et les nombres 12 (les rotations du repère), π (le demi-tour), $1/4$ (l'exposant de la cascade dans L). Précision : $m_e \propto (\rho_\Lambda / \rho_{\text{nuc}})^{(1/8)}$ — une incertitude de 2 % sur l'ancre du vide ne déplace m_e que de 0,25 %. L'écart observé, $-0,4 \%$, n'est donc pas couvert par la marge des ancras : c'est un écart réel, porté au registre. Statut : conséquence à 3 % depuis les trois propriétés des champs, candidate forte. Deux pièces sont posées : la conversion du demi-tour (le taux 2π du col) et la position du centre à $L/2$ au-dessus de l'objet-limite (énoncé de la source, jugé par l'énergie faible).

Ce que ce calcul change. Le mur unique du cadre — la séparation d'échelle entre le nucléon et l'électron, fermée par le théorème de l'échelle bornée — est contourné par le haut : l'électron est tenu par les ancras via la borne de Planck, sans passer par le proton. Deux secteurs qui ne se parlaient pas, la gravité et la naissance des forces, se rencontrent sur l'électron. La masse de l'électron n'est plus libre : elle est reliée à la tension, au vide et à la matière au plafond.

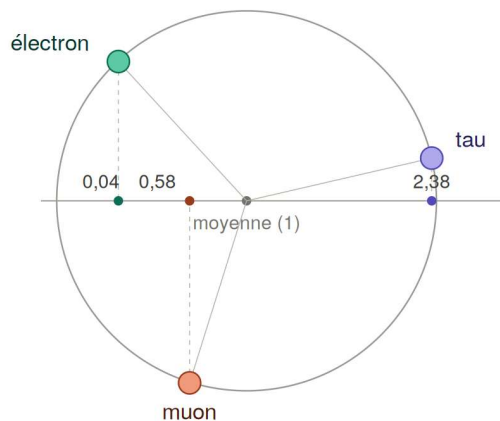
Ce que cela établit. Deux chemins du cadre vers Planck — la gravité (σ, ρ_Λ) et la naissance de l'interface (le repère, la tour, l'électron) — se rencontrent sans partager une pièce. Et le mur que le cadre s'était reconnu — la séparation d'échelle entre le nucléon et l'électron, que sa grammaire interne ne peut pas franchir (le rapport 1836, section 9) — est contourné par le haut : l'électron n'est pas atteint depuis le proton, il est atteint depuis Planck. Ce qui reste au mur, c'est la position du nucléon lui-même. Statut : conséquence native à 3 % — candidate forte ; elle devient une dérivation le jour où la règle de S28 (chaque structure se sépare à son propre nombre) sera démontrée.

9. La matière

La masse vit sur le singulet — et lui seul. Toute l'énergie d'un objet — pour un nucléon, ses quarks, sa liaison de couleur, tout ce qui le constitue — est, pour l'interface, une simple densité scalaire. Or une source scalaire ne peut solliciter qu'un seul des deux modes : le singulet. Le doublet ne reçoit rien — non qu'une part de l'énergie lui soit réservée et perdue, mais parce qu'il ne s'y couple pas : la symétrie des trois champs interdit à une source scalaire de toucher le doublet (le produit $1 \otimes 2$ ne contient aucun invariant). La masse est donc, littéralement, ce que le singulet porte.

Les leptons. L'électron est la résonance que le nucléon entretient sur les champs (S18), et le mécanisme complet est écrit. Le secteur des masses porte sa forme dérivée et deux constantes mesurées déclarées (R^* , d) ; sous l'identité dilatation-enroulement, la relation de Koide ($Q = 2/3$ à 10^{-5}) est dérivée et le tau prédit depuis l'électron et le muon. Le spin $\frac{1}{2}$ et l'antisymétrie sont des théorèmes (la tenaille, T13) :

$$\text{Rapport} = 8/15 \times (1 - d^2), \text{ avec } d = 4,9^\circ \text{ mesuré}$$



3 points, chacun à 120° (1/3 de tour).

Phase $\delta = 2/9$: elle choisit les vraies masses.

$Q = 2/3$ toujours, quelle que soit δ — c'est la forme qui le garantit.

Projection horizontale des trois points → les trois racines $\sqrt{m}$

Le cercle de Koide. Les trois leptons occupent trois points à 120° ; leurs projections horizontales sont les trois $\sqrt{m}$ (moyenne 1). L'amplitude $\sqrt{2}$ garantit $Q = 2/3$ pour toute phase ; la phase $\delta = 2/9$ sélectionne les masses réelles.

Le nucléon. Le nucléon est la matière à saturation — l'interface pleine à l'échelle nucléaire, confinée donc étendue (~ 1 fm), portant la charge pleine. Il n'est pas sur l'escalier leptonique (T12) : son rapport de masse à l'électron, 1836, est encadré, non dérivé, et le document le dit. Le neutrino, lui, est prédit être sa propre antiparticule (Majorana) — falsifiable par la double désintégration bêta sans neutrino.

Le proton. Un composite uud du spectre dérivé des charges — trois enroulements de phase, un par champ (la résidence, refermée par la règle de sélection : la neutralité de couleur). Sa charge se

calcule depuis le spectre, chaque valeur étant un théorème du centre Z_3 (annexe H) — exacte, topologique, sans barre d'erreur : une source de torsion nette +1, qui induit exactement une résonance en opposition — l'électron : l'atome est la compensation refermée à distance. Sa taille est l'ancre d'échelle déclarée du secteur : le théorème de la cascade interdit de la dériver depuis l'autre ancre.

$$q_p = +2/3 + 2/3 - 1/3 = +1 \quad (\text{vérifié : } |q_p| = |q_e| \text{ à } 10^{-21} \text{ près})$$

Le rayon de charge du proton, chiffré. La même lecture se calcule : le cœur de charge à la cellule propre du proton (fixée par son énergie), la périphérie à la cellule de saturation nucléaire, la composante projetée au loin — l'électron — retranchée : le rayon de charge sort à -2,8 % de la mesure, sans paramètre. Le résidu a une explication de structure et, depuis, un chiffre : la compensation du proton étant projetée à travers l'interface (un changement de face), sa couche périphérique se resserre d'une fraction fixée par les deux bornes de présence du secteur leptonique — celle de l'électron (1/16) resommée sur le seuil du muon (1/2) traversé deux fois, une par face : $f = (1/16)/(1 - 1/2) = 1/8$. Avec cette fraction, $\langle r^2 \rangle_p = 0,7067 \text{ fm}^2$ contre 0,7071 mesuré : -0,1 %. L'exposant (deux passages) est dicté par S24 avant tout chiffre ; le neutron en juge l'exposant, avec la réserve de S.2. Ce qui reste dû : dériver la resommation elle-même — l'objet du $1/(1 - f_{\mu^n})$ — dit tel quel. Annexe N.

Le neutron. Un composite udd du même spectre — trois enroulements, un par champ. Le calcul, du même théorème (annexe H) :

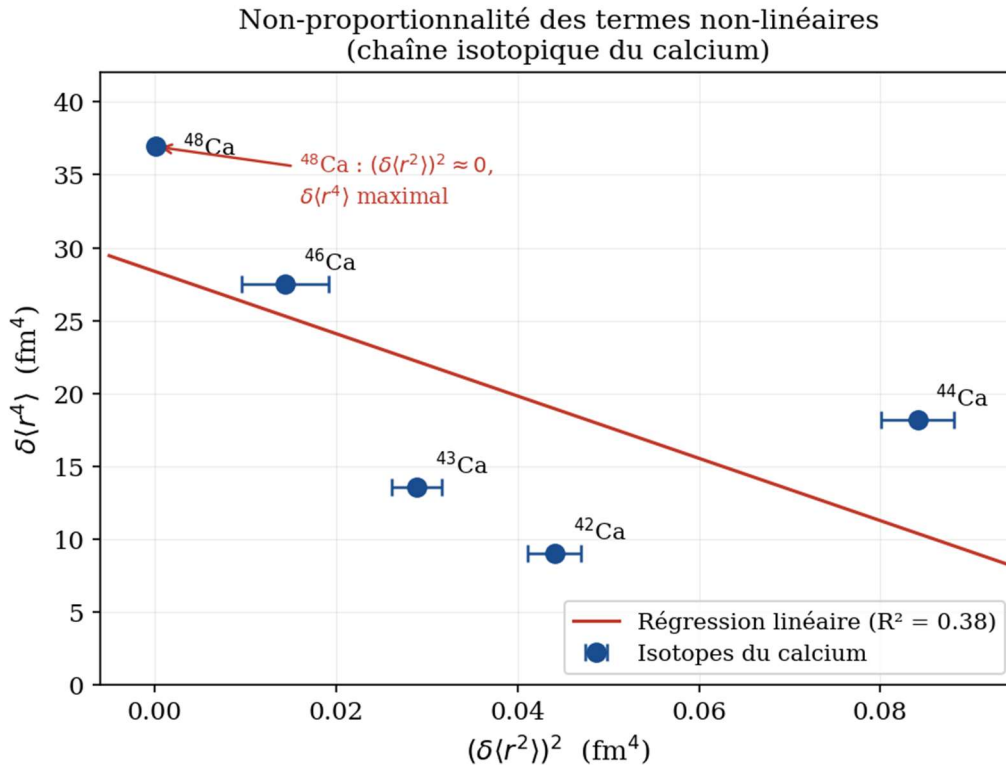
$$q_n = +2/3 - 1/3 - 1/3 = 0 \quad (\text{vérifié : neutralité} < 10^{-21} e)$$

La lecture des deux fiches tient en une phrase (S24) : un seul mécanisme d'opposition, deux échelles de compensation — l'atome pour le proton, la couche superficielle pour le neutron. Première conséquence, vérifiée au signe sans paramètre : le rayon de charge carré du neutron est négatif (cœur positif, périphérie négative). Et sa grandeur est chiffrée par les mêmes deux bornes que le proton, avec l'exposant que S24 impose — la compensation étant interne, le seuil n'est traversé qu'une fois : $f = (1/16)/(1 - 1/2) = 1/8$ — d'où $\langle r^2 \rangle_n = -0,117 \text{ fm}^2$ contre -0,116 mesuré : +0,5 %. Le neutron juge l'exposant du mécanisme — avec la réserve dite en S.2, l'énergie du nucléon y entrant mesurée : échanger les exposants (deux passages au neutron) le déplace de 18 %. Deux observables, zéro paramètre, deux exposants fixés par le mécanisme avant tout chiffre.

Les atomes et les noyaux. Les nombres de remplissage des couches électroniques sont dérivés de la symétrie sphérique et du spin — là où la physique standard les observe sans les dériver :

$$2, 8, 18, 32 \quad (= 2n^2)$$

Côté noyaux : le rayon de charge constant des isotopes du calcium (la réponse saturante de la tension), la structure discrète des rayons aux fermetures de couches (909 isotopes analysés), les nombres magiques reproduits avec le spin-orbite lu comme courbure de surface, et le rayon de charge du proton, dont le cadre prédit qu'il ne dépend pas de la sonde : le rayon est une propriété de l'objet, et les déterminations muonique et électronique doivent donner la même valeur. La frontière du secteur, les King plots, est une prédiction falsifiable (section 12).



La chaîne isotopique du calcium : $\delta\langle r^4 \rangle$ contre $(\delta\langle r^2 \rangle)^2$. Le ⁴⁸Ca se détache — rayon de charge constant, réponse saturante — la non-proportionnalité que le cadre prédit.

Le bord des noyaux — le terme de surface (S25). La conservation du volume avec un bord étalé réduit le rayon de charge effectif (R_q), non le rayon de densité ; la largeur du bord suit S25 : trois enroulements, trois étalements indépendants, composition en quadrature — $\sqrt{3}$ fois la cellule locale. L'ajustement en aveugle sur les rayons de charge mesurés rend $z = 0,36\text{--}0,43$ fm, encadrant la valeur prédite et excluant le lissage simple (0,23). Dérivation complète, jugement RMS et statuts : annexe M.

$$C(A) = a_{\text{nuc}} \cdot A^{(1/3)} \cdot [1 - \pi^2 z^2 / (3a_{\text{nuc}}^2 A^{(2/3)})], \quad z = \sqrt{3} \cdot a_{\text{loc}} / 4,394 = 0,402 \text{ fm}$$

Ce qui tient le noyau — la vallée de stabilité. Rien n'attire les nucléons : à la densité de saturation ils sont une seule cascade de cellules contiguës, sans interstice.

Ce qui pourrait la défaire, c'est le proton : sa compensation est projetée au loin (l'électron), donc à l'intérieur du noyau son cœur positif est nu, et deux protons voisins sont deux torsions nettes de même sens qui s'ajoutent — leur coût est dérivé : $a_c = (3/5) \cdot \alpha \cdot \hbar c / r_0$. Le neutron, compensé sur sa propre surface, est neutre ; il écarte les protons sans torsion nette.

Ce qui interdit d'ajouter des neutrons sans fin est le coût d'asymétrie, en deux parts natives : l'exclusion (deux espèces sur deux échelles) et le croisement proton–neutron au plan médian (section 8 : une seule tentative, la borne nue $f_e = 1/16$ de la coquille périphérique : 20,8 MeV). Les formules de ces coûts sont des formules de sphère uniforme : leur rayon est la sphère uniforme équivalente, $r_0 = 1,20$ fm. Il faut dire pourquoi ce rayon diffère de l'ancre de matière, 1,0635 fm : ce

ne sont pas deux conventions du même objet, ce sont deux extensions différentes. La densité vit sur le singulet, la charge sur le doublet ; un rayon de charge et un rayon de densité ne mesurent donc pas le même mode, et rien n'exige qu'ils coïncident. À r_0 trois juges indépendants se ferment ensemble : $a_c = 0,72$ MeV (mesuré 0,71), $S_0 = 31,9$ MeV (mesuré $31,6 \pm 2,2$), la résonance dipolaire géante (+0 %). Le coût d'asymétrie est affaibli par la surface, dont les cellules ne sont engagées qu'à moitié : $a_{\text{sym}}(A) = S_0/(1 + 3\delta/R)$, la forme standard de la symétrie de surface. La vallée suit : $N/Z - 1 = a_c \cdot A^{2/3}/(2 \cdot a_{\text{sym}}(A))$ — sur les noyaux lourds à 2 % (le plomb 1,51 contre 1,54, l'uranium 1,55 contre 1,59), sans paramètre ajusté, sans force, sans terme de Coulomb posé, sans modèle de goutte.

La peau de neutrons — une conséquence, testée. Puisque la charge suit les protons et la densité tous les nucléons, le rayon de densité doit déborder le rayon de charge proportionnellement à l'excès de neutrons, et l'écart doit s'annuler exactement à $N = Z$. Sur six noyaux mesurés — calcium-40, nickel-58, étain-116, calcium-48, étain-124, plomb-208 — la corrélation vaut 0,914, la pente $0,915 \pm 0,076$ fm, et le calcium-40, à $N = Z$, donne une peau compatible avec zéro. Le cadre rend le signe, la loi et le point de contrôle ; il ne rend pas encore la pente, qui demanderait le profil des deux modes dans le noyau.

Ce qui reste dû : l'épaisseur δ de la couche d'asymétrie à cette échelle (le fit libre 0,74 fm, près de la cellule réduite 0,69), le régime des noyaux légers (la structure de couches en paliers aux nombres magiques). Annexe P.

10. Le quantique

La superposition — le cœur de la mécanique quantique, natif. Une excitation se répartit en amplitude entre les trois champs, et cette possibilité même est la source de la continuité du cadre. L'amplitude est complexe ; les produits amplitude $\times$ conjuguée forment la structure hermitienne (celle qui a déjà donné les huit gluons) ; l'équation de champ, linéaire et conservant l'énergie, porte l'unitarité. Le cadre contient donc nativement le cœur mathématique de la mécanique quantique — il ne l'emprunte pas.

La frontière — où le quantique cède au classique. L'interface est la somme des trois champs ; une excitation épuise ses degrés de liberté, point zéro compris (S23) : aucun tiers n'existe pour enregistrer les branches — le recouvrement W mesure leur orthogonalité, pas leur mort. La décohérence intrinsèque est strictement nulle sous une frontière de saturation en densité :

$$\rho_{\text{max}} = 27 \text{ g/cm}^3$$

En deçà — c'est-à-dire pour tout objet de laboratoire, sous-critique de plusieurs ordres —, les superpositions se préservent, exactement comme en mécanique quantique standard. La seule limite quantique-classique du cadre est le seuil où la linéarité, qui EST le principe de superposition, cesse. (Annexe E)

La mesure et l'intrication. Ce qu'on nomme réduction de la fonction d'onde est une limitation de la mesure : une détection est locale et porte sur une excitation présente à travers plusieurs champs (P5) — il n'y a pas d'effondrement physique. Et deux particules intriquées sont la même onde, projetée en plusieurs endroits via la géométrie profonde des champs — non une action à distance. Le support tensoriel ($\mathbb{C}^3 \otimes \mathbb{C}^3$) est natif ; les corrélations quantitatives restent suspendues à la règle de Born, nommée comme dette.

11. Gravitation et cosmologie

La gravité — la géométrie EST la gravité. La constante de Newton est dérivée de l'ancre, et la gravité newtonienne est le terme croisé des énergies, rigoureusement newtonienne en moyenne (T6) :

$$G = c^4 \rho_{\Lambda} / 12\pi\sigma^2$$

Deux chaînes internes sans ingrédient commun convergent pour établir que la géométrie de l'interface EST la gravité des masses (T7) — identité étendue à l'équivalence, aux horloges, à la déviation de la lumière et aux ondes gravitationnelles (portées par le singulet, non-dispersives). Les jauges post-newtoniennes tombent exactes :

$$\gamma = 1, \beta = 1 \rightarrow \text{Mercure : } 43,0'' \text{ par siècle}$$

Et une prédiction de courte distance, sans paramètre libre : le potentiel s'éteint sous l'échelle de cellule, en newtonien $\times [1 - e^{(-\sqrt{3}r/a)}]$, de portée 16,9 μm .

Les galaxies — sans matière noire. Le seuil d'accélération des galaxies, que d'autres cadres posent, est ici dérivé de l'ancre :

$$a_0 = (5/48) \cdot c^2 \cdot k = 1,203 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2 ; \quad g_{\text{obs}}/g_{\text{N}} = 1 + 0,323/\sqrt{x}$$

La courbe de rotation plate est une conséquence, sans substance ajoutée : le lentillage suit la dynamique par construction. Le mécanisme reproduit les galaxies ; les amas restent en déficit — le mur classique de toute loi de ce type, que le cadre n'esquive pas. Le test décisif est déposé : les binaires larges (section 12). (Annexe F)

La cosmologie. L'ancre ρ_{Λ} est le point zéro coupé à l'échelle propre — locale, insensible à la finitude de l'univers (T5). La constante de Hubble et le seuil galactique procèdent d'une seule grandeur :

$$H_0 \text{ et } a_0 \text{ procèdent de } k \cdot c$$

Le nombre du cadre se situe entre les deux déterminations en désaccord de la tension de Hubble. La gaussianité du fond diffus est une conséquence de $N = 3$ (T22), et sa structure aux grands angles est confrontée aux anomalies observées. Le Big Bang est relu comme stabilisation de l'intersection (réinterprétation, statut déclaré). Les trous noirs n'ont ni singularité ni horizon et l'information y est conservée (T10) — leurs signatures fines restant déclarées spéculatives. Et la matière dégénérée, au-delà de la frontière de saturation, a franchi la barrière : naines blanches et étoiles à neutrons sont, pour la délocalisation de leur centre de masse, intrinsèquement classiques.

La masse minimale d'un trou noir. Le plafond de courbure de l'interface ($\text{Tr}(K) \leq \sqrt{3}/a$, dérivé) interdit tout trou noir de rayon inférieur à $a_{\text{min}} = 16,9 \mu\text{m}$: $M_{\text{min}} = 1,1 \times 10^{22} \text{ kg}$ — la masse d'un gros astéroïde dans dix-sept microns, cent à mille fois au-dessus de la fenêtre où les trous noirs primordiaux pourraient constituer la matière noire. Deux conséquences sans emprunt au rayonnement de Hawking : aucune bouffée finale d'évaporation, jamais ; et la fenêtre « astéroïde » est vide. Les questions classiques des reliquats (entropie, production en paires) restent ouvertes, dites telles quelles.

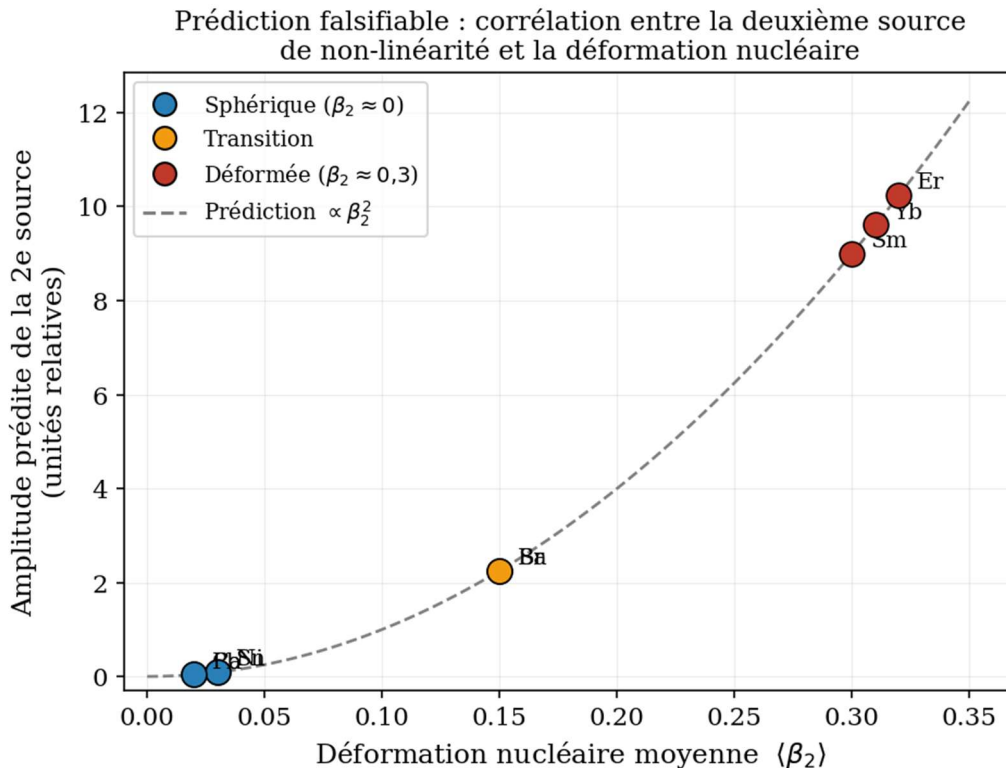
L'absence de baryogenèse — pourquoi l'univers est fait de matière. Le récit standard doit expliquer pourquoi l'univers contient de la matière et presque pas d'antimatière : il postule une baryogenèse — un mécanisme créant un léger excès de matière, exigeant les conditions de Sakharov (violation du nombre baryonique, violation CP, hors d'équilibre). Aucun mécanisme satisfaisant n'a été trouvé. Le cadre renverse la question : l'interface s'est stabilisée en un seul événement, qui a fixé une orientation unique des trois champs. Cette stabilisation a produit de la matière, et n'a PAS créé d'antimatière — l'antimatière est l'autre face, jamais peuplée primordialement. Il n'y a donc aucun déséquilibre à expliquer : pas d'asymétrie, pas de baryogenèse. C'est une prédiction distinctive, en désaccord explicite avec le récit standard — et falsifiable.

L'uniformité du fond diffus, sans inflation. Le fond diffus cosmologique a la même température dans toutes les directions à un cent-millième près, y compris entre des régions qui, dans le Big Bang standard, n'ont jamais pu être en contact causal — le problème de l'horizon, que le modèle standard résout en postulant l'inflation. Le cadre offre une autre voie : l'uniformité est un effet de la stabilisation de l'interface sur une grande surface d'un seul geste, et les fluctuations sont le résidu de cancellations géométriques entre les trois champs. Statut honnête : le mécanisme est structurellement cohérent mais pas encore quantitatif — reproduire l'amplitude des fluctuations et la position des pics acoustiques reste le grand défi non relevé, et le cadre le dit.

L'évaporation des trous noirs — un reliquat. Si un trou noir s'évapore par rayonnement de Hawking, le cadre prévoit que le processus s'arrête (ou change de régime) quand la taille atteint le plancher de saturation de la tension : il resterait un reliquat de taille finie, plutôt qu'une disparition complète. Réserve nommée : le cadre propose un mécanisme géométrique pour cette taille minimale, mais ne résout pas les problèmes connus d'entropie et de production de paires — il ne le prétend pas.

12. Le catalogue des prédictions falsifiables

Par ordre d'échéance. Chaque prédiction porte son juge, sa date, et ce qui la tuerait.



Prédiction falsifiable : l'amplitude de la seconde source de non-linéarité croît comme le carré de la déformation nucléaire ($\propto \beta_2^2$) — sphériques en bas, déformés en haut.

1. Les binaires larges (Gaia DR4, fin 2026 — LA prédiction, déposée le 18 août 2026). La fourche : le boost γ vaut 0,323 (lecture A) ou 0,305 (lecture B) dans la zone d'anomalie — un écart A/B de 1,3 à 2,2 %. L'état empirique avant DR4 : sur eDR3 nettoyé (RUWE, distance, SNR croissant), les données propres sont newtoniennes jusqu'à ~10 kUA — cohérent avec la transition tardive du cadre ($r_t \approx 3,6$ kUA), DÉFAVORABLE à MOND (qui prédit un boost naissant là où les données propres donnent ~1,0), et le plateau distinctif ($\gamma \sim 1,6$ au-delà de 14 kUA) est hors de portée des vitesses 2D : il attend DR4. Ce qui tue : un ciel newtonien partout à DR4.

2. Le neutrino sans polarité : la conclusion structurelle est falsifiable et actuellement testée par les expériences en cours.

3. Les King plots : la non-linéarité prédite là où la théorie standard exige une droite — avec sa forme précise et le test transversal de déformation nucléaire en annexe du document cadre.

4. La gravité de courte distance : l'extinction du potentiel sous $16,9 \mu\text{m}$ ($\alpha = -1$ exactement) — confrontée à la littérature des balances de torsion ; conditionnelle, sans paramètre libre.

5. La décohérence : zéro intrinsèque sous la frontière — le pari daté contre les modèles d'effondrement spontané (qui prédisent un taux dans la gamme 10^6 – 10^{10} uma des interféromètres en préparation). Ce qui tue : un excès résiduel reproductible après soustraction instrumentale, à n'importe quelle masse.

6. La gaussianité du CMB comme conséquence de $N = 3$, et la structure modale aux grands angles.

7. La masse minimale d'un trou noir : aucun trou noir sous $1,1 \times 10^{22}$ kg (16,9 μ m). Ce qui tue : la détection d'un trou noir primordial en évaporation (une bouffée gamma de fin de vie, Fermi/HAWC), ou d'un trou noir de masse inférieure au seuil par microlentillage.

8. L'unification sans la mort du proton : le cadre obtient l'angle de mélange à l'unification ($\sin^2\theta_W = 3/8$) depuis trois structures distinctes de l'interface — sans aucun générateur mélangeant quarks et leptons, donc sans désintégration du proton. Les unifications de groupe ne le peuvent pas : elles paient l'angle par un proton qui meurt, et la borne de Super-Kamiokande ($\tau > 1,6 \times 10^{34}$ ans) les force au-dessus de 10^{15} GeV, où l'angle rate la mesure sans supersymétrie. Ce qui tue : un seul événement $p \rightarrow e^+\pi^0$ tuerait les théories de groupe et laisserait le cadre debout à côté du Modèle Standard — qui partage la stabilité du proton, mais pas l'angle dérivé.

9. La part du vide : $\Omega_\Lambda = 2/3$ exactement. Le cadre calcule l'âge de l'univers depuis la tension et la densité du vide ($T = R_\Sigma/3c_a$) ; mais ce calcul est, formellement, l'équation de Friedmann avec un coefficient fixé — la seule chose qu'il prédit vraiment, c'est ce coefficient : le vide occupe deux tiers de l'univers, $H_0^2 = 4\pi G\rho_\Lambda/c^2$.

Juge : Ω_Λ mesuré = $0,6847 \pm 0,0073$ (Planck 2018) ; $2/3 = 0,667$, à 2,7 % — $2,5\sigma$: tension, non accord.

Statut : dérivé par deux voies qui se rejoignent — l'expansion ($H = \sqrt{3} \cdot c/R_\Sigma$, section 3.12 : le $\sqrt{3}$ de la contrainte $\langle T \rangle = 0$; avec la loi G, le $4\pi = 12\pi/3$) et l'équipartition de phase des trois modes (S14 ; la masse sur le singulet, T3) — sans pas posé ; en tension à $2,5\sigma$.

Ce qui tue : une mesure d' Ω_Λ qui s'éloigne de $2/3$ au-delà de la marge du cadre (la précision de σ , 2 %) ; ce qui sauve : un mécanisme du tiers, ou une correction native du 2,6 %.

Conséquence portée au même titre — une lecture cohérente sous T3, T16 et l'équipartition de phase (S14), non un théorème : l'univers est plat, $\Omega_k = 0$ (mesuré $0,000 \pm 0,002$) — la somme des trois contributions, cohérente avec la courbure moyenne nulle de l'interface stable (section 3). Le 4π de $H_0^2 = 4\pi G\rho_\Lambda/c^2$ est dérivé : $12\pi/3$, le facteur de la loi G divisé par le 3 des champs (Annexe Q). Tension nommée : $2/3$ est à $2,5\sigma$ de $0,6847 \pm 0,0073$.

Ce que le cadre ne revendique pas : « avoir dérivé l'âge de l'univers » — l'âge suit de $\Omega_\Lambda = 2/3$ comme dans toute cosmologie.

10. La température du fond diffus : $T_{\text{CMB}} = T_\Lambda \cdot e^{(-3\pi/4)} = 2,742$ K. Le rapport entre la densité du vide et celle du rayonnement fossile est $e^{(3\pi)}$ — trois demi-tours de π en densité, un par champ (section 3). Juge : $T_{\text{CMB}} = 2,7255 \pm 0,0006$ K ; prédit 2,742, écart +0,6 %, dans la marge de ρ_Λ (2 %, soit 0,5 % sur T). Statut : mécanisme candidat (la règle « un demi-tour par champ » posée, comme dans S28). Ce qui tue : une mesure de ρ_Λ resserrée qui déplace T_Λ hors de l'accord ; ce qui sauve :

la dérivation du compte. Ce que le cadre ne revendique pas : la cosmologie standard ne relie pas T_{CMB} à ρ_{Λ} — c'est une relation nouvelle, non une reproduction.

11. L'hélium primordial : $Y_p = 63/256 = 0,2461$ — depuis la présence de la compensation interne du neutron ($f_n = 1/8$) et le poids d'une tentative de changement de face ($1/64$), sans durée ni paramètre ; mesuré $0,2458 \pm 0,0013 (+0,2\sigma)$. Ce qui tue : une mesure de Y_p sous 0,242 ou au-dessus de 0,250 ; Ce qui n'est pas revendiqué : que le rayon de charge du neutron soit un second juge du même objet.

12. La peau de neutrons : dans un noyau, le rayon de densité déborde le rayon de charge proportionnellement à l'excès de neutrons, et l'écart s'annule exactement à $N = Z$. C'est une conséquence directe de la distinction des deux modes — la charge sur le doublet, la densité sur le singulet — et elle ne coûte aucun paramètre. Vérifiée sur six noyaux (corrélation 0,914 ; calcium-40 compatible avec zéro). Ce qui la tue : une peau non nulle mesurée sur un noyau à $N = Z$, ou une peau qui ne croîtrait pas avec l'excès de neutrons. Ce que le cadre ne rend pas encore : la pente, 0,92 fm.

Et le contre-exemple permanent : chaque théorème (section 4) est réfutable par contre-exemple — le cadre tient sa porte ouverte.

13. Le registre des dettes, en clair

Ce qui n'est pas dérivé, nommé et daté. Les statuts employés : dérivé, théorème, émergent, relation, candidat fort, candidat, lecture, énoncé-source, dette, en réserve.

Les énoncés-source du cadre, posés et jugés, non dérivés : l'identité dilatation-enroulement (un e-fold de densité et un tour de phase sont un seul mouvement ; fixe $R = 2\pi$; jugée par le col leptonique à 0,27 %, le running du photon, Planck, les rendez-vous, le fond diffus) ;

S24 (les deux échelles de compensation) ;

S25 (le bord au $\sqrt{3}$).

S26 (le changement de face) et sa règle des tentatives — le $\frac{1}{2}$ par face engagée est dérivé depuis l'équipartition de phase (la projection d'une rotation uniforme), une face étant un sens de la normale et en sortir un demi-tour ;

S27 (la présence des sources) ;

S28 (la naissance comme compte à rebours du repère — pourquoi 11, 9 et 8 : les nombres du repère, la règle « chaque structure à son nombre » posée) ;

Le secteur des masses : l'angle $d = 4,9^\circ$ (la fluctuation ; sa forme est dérivée, et sa valeur sort désormais de la fermeture d' α sous la conjecture de la fluctuation de point zéro — voir S.5) ;

La masse de l'électron depuis les ancrs (0,509 MeV, -0,4 % — candidat fort ; deux pièces posées : la conversion du demi-tour, le médian à $L/2$ de l'objet-limite) ;

La masse du nucléon depuis le lieu (964 MeV, +2,7 % — candidat fort) ;

Le rapport 1836 en découle comme rapport de deux masses tenues par les ancrs, à leur précision ; les écarts de masse entre générations : la relation position $\leftrightarrow$ masse est circulaire, et le cadre ne la poursuit pas ;

Le critère de Koide ($Q = 2/3$ à 10^{-5}), dérivé sous l'identité dilatation-enroulement, non au-delà.

Le secteur de jauge : le pont faces $\rightarrow$ doublet ; la distinction des deux Z_3 ; l'échelle électrofaible (le plan médian, $m_e e^{\Lambda/2}$, à 1,1 % — candidat fort sous deux lectures nommées) ; les masses de W et Z chiffrées par l'angle dérivé (1,1 %) ; la normalisation complète de la structure de jauge n'est pas écrite ; le facteur de motif et la force de rappel : candidats forts, non exclusifs dans la marge de la cible (± 9 %).

Le secteur nucléaire : le facteur d'empilement $r_0 = a_{\text{nuc}} \cdot 2^{1/6}$ est un emprunt — le 0,74 y est la fraction d'empilement compact de sphères dures, une géométrie extérieure au cadre ; le nombre s'accorde à 0,5 % avec le rayon de charge observé, mais sans mécanisme natif, et il ne doit pas servir à compter un volume ; le coefficient d'appariement ($W = 3 \cdot E_{\text{cross}}$ — candidat fort) ; la largeur des paliers de couches aux nombres magiques ; l'écart résonance/vallée (15–20 %) ; le ~ 10 % de S_0 (l'échelle matière/charge).

La cosmologie : R_Σ est mesuré, non dérivé — le cadre gagne une relation entre trois grandeurs (la tension, le vide, la gravité) ;

$\Omega_\Lambda = 2/3$, dérivé, est en tension à $2,5\sigma$ avec le paramètre ajusté de Λ CDM — la comparaison directe sur les observables reste à faire ;

Le lointain : la dilution par les cellules rend la densité, la température et le diagramme des supernovæ ;

La composition de la stabilisation — l'hélium primordial (section 3, prédiction 11) : candidat fort, ses deux lectures nommées (la part née neutron est la présence f_n ; La perte est une tentative) ;

Le deutérium dépend du nombre d'enroulements, un contenu mesuré — non une dette ;

Le lithium est laissé.

Le quantique : la règle de Born comme probabilité (le pont énergie→probabilité) et le problème de la mesure — deux dettes partagées avec toute la physique ; la démonstration en matrice densité de S23 (chantier nommé).

La gravité : l'ordre non linéaire complet (entamé — gravité linéaire, finitude, survie de l'échelle, $\beta = \gamma = 1$ — non achevé) ; les signatures fines des trous noirs (spéculatives, dites telles).

Les programmes : P8 (la correspondance arithmétique — l'identification de Berry-Keating est déclarée obstruée) ; la subdivision entière des cellules (la condition nécessaire démontrée pour tout lien aux zéros de zêta — la marche documentaire restante).

Retiré de cette liste, comme questions posées dans le vocabulaire d'une autre théorie : les facteurs de groupe (le porteur pèse 11/3 par élément permuté) ; les ordres supérieurs du running (la loi du cadre est fermée, une pente par échelon ; l'écart au Z est de convention).

Dettes ouvertes au 7 septembre 2026, dans l'ordre de ce qu'elles coûtent.

Les rayons de charge du proton et du neutron ne se calculent qu'avec l'énergie mesurée du nucléon : avec l'énergie dérivée, le neutron s'écarte de 23 % — la longueur de coquille du calcul n'a pas été harmonisée avec la cellule (S.2).

L'écart de 2,7 % que porte la cellule nucléaire se retrouve partout où elle entre — l'énergie du nucléon, la densité de saturation — sans être expliqué (S.14).

Le plan médian, en chaîne native, tombe 1,5 % sous la moyenne géométrique des masses des bosons faibles, et aucun choix restant ne le déplace.

L'échelle d'où descend l'angle de mélange est lue sur l'angle mesuré, et elle se situe une trentaine d'échelons au-dessus du plafond nucléaire — là où le cadre n'a pas de cellule (S.6).

L'identité des deux rôles de la présence 1/8 — coût de resommation d'un côté, fréquence de réalisation de l'autre — n'est pas démontrée (S.11).

Le photon comme état du doublet n'est pas traité au-delà de l'ordre quadratique (S.9).

L'abondance du lithium est laissée de côté.

Le cadre nomme ses dettes, les démontre quand il le peut, et les date.

Le détail de chacune, avec les nombres, est en annexe S.

Annexe A — La lumière : dérivation complète

Dans le Modèle Standard, le photon est un champ élémentaire posé : ses deux polarisations, sa masse nulle et son couplage sont donnés. Ici, rien de tout cela n'est posé — le photon est une conséquence de la géométrie de l'interface. Cette annexe dérive, pas à pas, sa nature, sa courbure, ses deux polarisations et sa masse nulle, et nomme honnêtement ce qui reste dû.

1. Le cadre géométrique. En chaque point de l'interface Σ vit un repère interne des trois champs. Ce repère peut tourner d'un point à l'autre ; cette rotation est la connexion de jauge A . Elle n'est pas ajoutée à la main : c'est une donnée du fond géométrique. Le secteur mou — le doublet — porte exactement deux modes réels transverses, d_1 et d_2 .

2. Le photon est composite. Le potentiel A est quadratique dans les déplacements du doublet : le quantum de jauge est un état à deux quanta du secteur mou, non un champ fondamental. C'est déjà une prédiction — le porteur n'est pas élémentaire.

3. La courbure est un commutateur (équation de Ricci). Par l'équation de Ricci des immersions — un théorème de géométrie différentielle appliqué aux objets que le cadre définit —, la courbure de cette connexion s'écrit

$$F = [K_1, K_2] = (i/2)[K_+, K_-]$$

le commutateur des deux opérateurs de forme du doublet, c'est-à-dire des deux façons dont l'interface sait se courber.

4. Pourquoi c'est le champ électromagnétique. Les deux modes du doublet commutent comme directions — d'où l'abélianité, un seul $U(1)$. Mais leurs courbures ne commutent pas, et ce défaut de commutation EST le champ électromagnétique. En une phrase : la lumière est le défaut de commutation des deux manières dont l'interface sait se courber. Le groupe $U(1)$ n'est pas posé ; il tombe de la commutativité des directions.

5. Les deux polarisations (dérivées). Le doublet compte exactement deux modes réels transverses, d_1 et d_2 . Leurs combinaisons complexes $z = d_1 + i \cdot d_2$ et $\bar{z} = d_1 - i \cdot d_2$ sont exactement la forme des deux hélicités du photon (les polarisations circulaires). Sous $U(1)$: $z \rightarrow e^{i\theta}z$ et $\bar{z} \rightarrow e^{-i\theta}\bar{z}$ — charges d'hélicité ± 1 opposées, le comportement exact des deux polarisations. Le nombre d'états (2), leur forme et leur transformation de jauge sont donc dérivés, là où le Modèle Standard les pose.

6. La masse nulle (dérivée). La redondance de jauge $A \rightarrow A + d\theta$ est exacte — établie par le théorème des fibrés normaux. La masse nulle du porteur est protégée par cette invariance : aucun terme de masse n'est invariant, donc le photon ne peut pas peser. La direction de jauge est plate — la déformer ne coûte rien à l'ordre quadratique.

Vérification de cohérence. Chaque pièce s'appuie sur un objet du cadre — le doublet à deux modes, l'équation de Ricci (théorème appliqué), la commutativité des directions ($U(1)$), l'invariance de jauge (théorème des fibrés normaux). Aucun élément n'est importé du Modèle Standard.

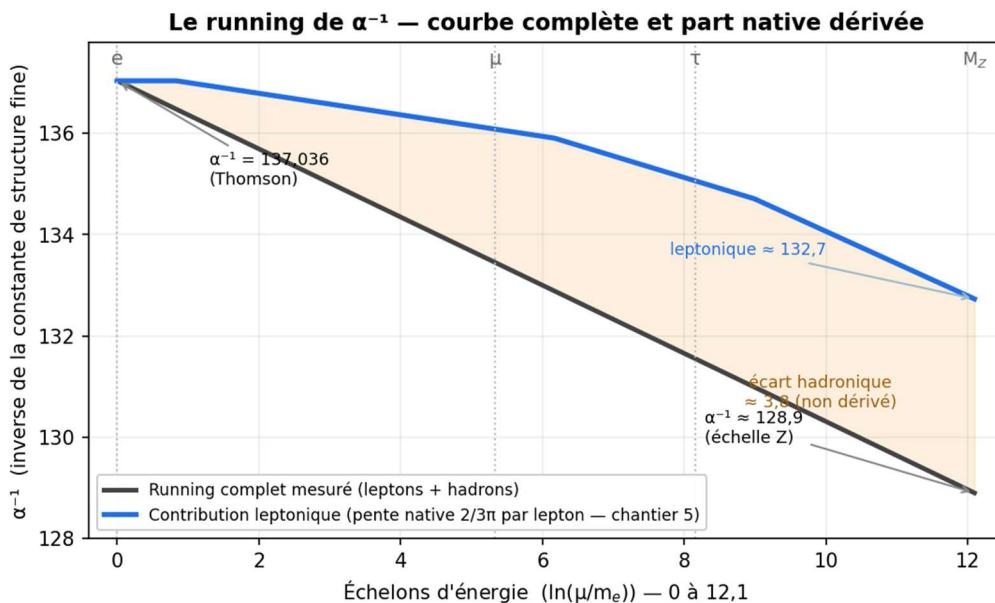
Ce qui reste dû, nommé. La STRUCTURE de la lumière est dérivée — composite, courbure-commutateur, deux polarisations, masse nulle. L'INTENSITÉ de son interaction — la constante de structure fine α — est reproduite à 0,3 % par la formule géométrique $\alpha^{-1} = 2\pi(L-2)(1-d^2) = 137,44$ (Annexe sur α), mais sa dérivation profonde depuis les invariants de l'action garde des pièces ouvertes (le coefficient du troisième invariant, le raccord de basse énergie). Le cadre sait donc ce qu'est sa lumière, ses états et sa masse nulle ; le prix exact de son interaction, il le nomme comme dette plutôt que de l'inventer.

Annexe B — Le running de α : la pente $2/3\pi$, sans particules virtuelles

En électrodynamique quantique, l'augmentation de α avec l'énergie (le running) vient de la polarisation du vide par des paires virtuelles particule-antiparticule. Ici, aucune particule virtuelle : le running sort du spectre propre du cadre.

1. La note chargée. Un lepton est un enroulement relativiste sur l'interface (le singulet, dispersion $\omega = c \cdot q$). Plongé dans un champ F uniforme, ses niveaux d'énergie forment un spectre de type Landau, $\omega^2 = B(2n+1) - \sigma \kappa B$ ($n = 0, 1, 2, \dots$).
2. Le noyau, tiré du spectre. La sommation du spectre en temps propre est une série géométrique exacte : elle donne le noyau $x \cdot \coth(x)$ — dérivé du spectre, non emprunté à Euler-Heisenberg. Le coefficient de x^2 dans son développement vaut $1/3$.
3. La pente. Le coefficient $1/3$ donne le poids de réponse $w = 4/3$, d'où la pente du running

$$d\alpha^{-1}/d(\text{échelon}) = w/(2\pi) = (4/3)/(2\pi) = 2/(3\pi) = 0,2122$$



La pente leptonique — $2/3\pi$ par lepton — est dérivée nativement (chantier 5, sans particules virtuelles) ; les petits termes finis de seuil sont standards. L'écart hadronique ($\approx 3,8$) n'est pas dérivé — comme dans le Modèle Standard, où il s'extrait de données. Valeur = convergence.

Le running leptonique de α^{-1} , dérivé du spectre propre du cadre : la pente $2/(3\pi)$ par échelon, sans particules virtuelles.

— une valeur rationnelle, exacte.

4. Les trois entrées, toutes dérivées ou lues. $\kappa = 1$ (dérivé par holonomie) donne le terme de spin ; $N_{ap} = 2$ (les deux faces comptent au point zéro du volume, lu de S20 : la note est une oscillation des champs sous-jacents) ; le signe fermionique est dérivé par une tenaille de deux routes topologiques indépendantes — le revêtement double des deux faces ($2\pi \rightarrow -1$) et le demi-tressage de deux enroulements unitaires ($\pi \rightarrow -1$) — convergentes sur l'antisymétrie.

Vérification. $2/(3\pi) = 0,21221$; la pente leptonique mesurée par échelon est 0,21218 — accord structurel exact (le nombre est rationnel des deux côtés).

Ce qui est dérivé, et ce qui ne l'est pas. La STRUCTURE (le noyau coth) et le SIGNE statistique sont dérivés ; la chaîne est close sans choix libre. Mais c'est une CONVERGENCE — le cadre retrouve la valeur standard $2/3\pi$, il ne la surpasse pas ; l'échelle absolue passe par une calibration d'instrument (l'étalon scalaire) ; et la part hadronique du running complet reste empruntée, comme dans le Modèle Standard où elle s'extrait de données. Une dérivation alternative native d'un résultat connu, sans particules virtuelles et sans bouton ajusté.

Annexe C — L'angle de mélange (dit de Weinberg) : $\sin^2\theta_W = 3/8$

L'angle de mélange gouverne le partage entre les forces électromagnétique et faible. Le Modèle Standard le mesure ; ici il se calcule sur la structure des charges.

1. Les charges. La structure du repère donne l'opérateur de charge électrique Q et l'isospin faible T_3 , avec les charges fractionnaires $(0, \pm 1/3, \pm 2/3, \pm 1)$ dérivées de la contrainte Z_3 sur la phase relative des trois champs.

2. Le rapport. $\sin^2\theta_W = \text{Tr}(T_3^2)/\text{Tr}(Q^2)$, la somme sur le multiplet des générateurs. On obtient $\text{Tr}(T_3^2) = 2$ et $\text{Tr}(Q^2) = 16/3$, d'où

$$\sin^2\theta_W = \text{Tr}(T_3^2)/\text{Tr}(Q^2) = 2/(16/3) = 3/8 = 0,375$$

Ce qui est dérivé, et l'honnêteté d'échelle. $3/8$ est la valeur canonique à l'échelle d'unification (celle des grandes unifications), tirée de la seule structure des charges en tiers, SANS groupe unificateur postulé. Ce n'est pas la valeur mesurée à basse énergie ($\approx 0,231$ à l'échelle du Z) : l'écart est l'effet du flot de renormalisation sur une quinzaine d'ordres de grandeur. Le cadre revendique $3/8$ à l'échelle de la genèse ; le raccord à la valeur mesurée exige le running (que l'Annexe B rend natif — les deux résultats se soutiennent). Ce que le calcul suppose est dit en S.6 : la trace porte sur le contenu en charges d'une génération complète, que la physique des particules a établi.

Annexe D — Le coefficient de la force forte : $b_0 = 11 - 4 = 7$

La force forte se renforce avec la distance (la liberté asymptotique, Nobel 2004) — l'inverse de l'électromagnétisme. Le coefficient b_0 gouverne ce sens. Le Modèle Standard le mesure ; ici il se décompose et se dérive.

1. La formule, avec $n_f = 2 \cdot N_{\text{gen}} = 6$ (six saveurs de quarks, de trois générations à deux) :

$$b_0 = 11 - (2/3) \cdot n_f = 11 - 4 = 7$$

le onze venant du porteur, le quatre du contenu.

2. Le onze (le porteur). L'auto-interaction du porteur émerge du spectre de tours, décomposée : $11 = 12$ (moment) – 1 (orbital). C'est le 11 de la chromodynamique ($b_0 = 11N/3$ avec $N = 3$).

3. Le résultat.

$$b_0 = 11 - 4 = 7$$

Le SENS (anti-écranage) et les deux nombres (11 du porteur, 4 du contenu) sont dérivés.

Ce qui reste dû. Le porteur pèse $11/3$ par élément permuté — trois champs, deux faces — et la coïncidence avec la normalisation de $SU(3)$ est une conséquence de l'algèbre dérivée, non un emprunt ; le juge du résultat est la STRUCTURE (le signe et le onze), non la normalisation de groupe.

Annexe E — La frontière quantique-classique : $\rho_{\text{max}} = \sqrt{3}\sigma/(a \cdot c^2) = 27 \text{ g/cm}^3$

Qu'est-ce qui fait décohérer une superposition ? Dans le cadre, ce n'est pas le couplage à l'environnement, mais un seuil de densité — au-delà duquel un objet est classique.

1. La formule, où σ est la tension de l'interface, a son échelle propre, c la vitesse de la lumière :

$$\rho_{\text{max}} = \sqrt{3} \cdot \sigma / (a \cdot c^2) = 27,0 \text{ g/cm}^3$$

2. Vérification d'unités.

$$[\sigma / (a \cdot c^2)] = (\text{J} \cdot \text{m}^{-2}) / (\text{m} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}) = \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Le calcul donne $\sqrt{3} \times 4,1 \times 10^{16} / (2,92 \times 10^{-5} \times 9 \times 10^{16}) = 2,70 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} = 27,0 \text{ g/cm}^3$.

3. Le résultat. Sous ρ_{max} , les superpositions se préservent, quel que soit le matériau ; au-delà, l'objet est classique. L'osmium ($22,6 \text{ g/cm}^3$) est juste en deçà.

Honnêteté. C'est le même zéro de décohérence intrinsèque que la mécanique quantique standard dans toute la gamme accessible ; la frontière ρ_{max} est le seul trait distinctif, et elle n'est pas directement testable — aucun objet n'atteint ρ_{max} dans un interféromètre. La moyenne se fait sur la cellule du vide, non sur le volume d'un noyau ni d'un atome : le seuil est une propriété locale de l'arène, non une propriété de l'objet.

Annexe F — Le seuil galactique a_0 : les courbes de rotation sans matière noire

MOND pose une accélération critique $a_0 \approx 1,2 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$ pour ajuster les courbes de rotation. Ici, a_0 n'est pas posé : il se dérive de l'ancre unique du cadre.

1. L'ancre unique. Le cadre n'a qu'une grandeur d'entrée : la densité d'énergie du vide ρ_Λ . De là, la courbure de fermeture $k = \rho_\Lambda / \sigma$ (σ = tension de l'interface) — la courbure résiduelle de l'interface refermée sur elle-même.

2. Le mécanisme. À grande distance, les parts radiale et de front de la tension se compensent : la gravité moyenne est rigoureusement newtonienne. Mais sous une accélération critique, le terme croisé de l'intermittence de présence (l'interférence des branches au front) ajoute une pente supplémentaire $[2 \cdot 2\nu(f(1-f))/3] \cdot VA/r$, où f est la fraction de présence. À l'équipartition ($f = 1/2$), $\nu(f(1-f)) = 1/2$, et cette pente engendre un seuil effectif.

3. Le résultat :

$$a_0 = (5/48) \cdot c^2 \cdot k = 1,203 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$$

Vérification d'unités : $[c^2 \cdot k] = (\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2})(\text{m}^{-1}) = \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ — bien une accélération. Comparé à la valeur empirique $1,20(\pm 0,02) \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$: accord à 0,3 %, dans l'incertitude de mesure. La vitesse de plateau d'une galaxie de 10^{11} masses solaires s'en déduit à 200 km/s — la valeur observée.

Le gain rare. MOND POSE a_0 ; personne ne le dérive. Ici il tombe de la seule ancre ρ_Λ , via k . Et la constante de Hubble $H_0 = k \cdot c$ procède du MÊME k : H_0 et a_0 ont une source commune, ce qui est un énoncé testable propre au cadre.

Honnêteté. Le mécanisme est un candidat, et les galaxies sont reproduites ; mais les amas de galaxies restent en déficit d'un facteur deux — le mur classique de toute loi de ce type, que le cadre n'esquive pas.

Annexe G — Le moment magnétique : $g = 2$ natif

Le facteur gyromagnétique de l'électron vaut $g \approx 2$. Le Modèle Standard le pose ($g = 2$ pour un spineur de Dirac) ; ici il tombe de la structure du spin.

1. Le spin, des deux faces. Le spin $\frac{1}{2}$ de l'électron est l'orientation de l'interface : ses deux faces (les deux normales) engendrent le revêtement double de $SO(3)$, donc un objet à deux états — la représentation de spin $\frac{1}{2}$.

2. Le g . Sous une rotation d'un demi-tour dans un champ, l'holonomie de cet objet à deux faces donne exactement le facteur de Landé de Dirac :

$$g = 2$$

obtenu de l'orientation géométrique, non posé.

L'écart, c'est le running. La valeur mesurée $g = 2,0023$ diffère de 2 par l'anomalie $g-2 = 0,0023$: c'est la polarisation du vide, c'est-à-dire le running (Annexe B). Le cadre dérive le $g = 2$ natif et le SENS de l'anomalie ; les décimales exactes de $g-2$ (les mesures les plus précises de la science) exigent le coefficient d'écran, nommé comme dette.

Annexe H — Le spectre des charges : $0, \pm 1/3, \pm 2/3, \pm 1$

Le Modèle Standard observe les charges fractionnaires des quarks ($\pm 1/3, \pm 2/3$) et postule que les quarks portent la couleur, les leptons non. Ici, les deux tombent d'une seule structure.

1. La charge est une phase. La charge électrique est portée par la phase relative entre les trois champs, contrainte au centre Z_3 de $su(3)$ — trois valeurs par tiers de tour :

charge $\leftrightarrow$ enroulement de la phase relative, contraint à Z_3 (trois valeurs)

2. La règle de sélection, dérivée. Une excitation à charge FRACTIONNAIRE doit spécifier sa résidence (sur quel champ vit l'enroulement) : elle porte l'indice à trois états, donc elle est un triplet coloré ($N_c = 3$). Une excitation à charge ENTIÈRE est aveugle à la résidence : elle est un singulet incolore.

fractionnaire $\leftrightarrow$ coloré ; entière $\leftrightarrow$ incolore

C'est pourquoi les quarks sont colorés et les leptons non — la règle que le Modèle Standard postule tombe ici de la différence entre enrouler la phase totale et l'enrouler champ par champ.

3. Le résultat. Le spectre complet des charges est :

$0, \pm 1/3, \pm 2/3, \pm 1$ — et rien d'autre

Ce qui est dérivé, et ce qui ne l'est pas. Le centre Z_3 de $su(3)$ (la quantification par tiers) et la règle de sélection sont dérivés. Les facteurs $SU(2)$ et $U(1)$ de l'algèbre complète ne sont pas entièrement dérivés — dette nommée (l'algèbre $su(2)$, elle, est dérivée : la dette porte sur la structure de jauge complète, non sur les générateurs).

Annexe I — Les multiplicités : $N_c = 3$, $N_{gen} = 3$

Le Modèle Standard compte trois couleurs et trois générations sans les dériver. Ici, les deux comptages sortent de la structure.

1. Trois couleurs. Une charge fractionnaire porte un indice de résidence à trois états, et ses transitions forment la matrice trois par trois moins la trace — les huit gluons :

$$N_c = 3 \rightarrow \text{transitions} = 3 \times 3 - 1 = 8 \text{ (les gluons)}$$

2. Trois générations.

$$N_{gen} = 6/2 = 3 \quad (3 \text{ couleurs} \times 2 : \text{matière et antimatière})$$

$$N_c = 3 \quad ; \quad N_{gen} = 3$$

3. La comptabilité boucle. La somme des charges au carré, pondérée par les couleurs, ferme sur le nombre exact de la physique standard :

$$\Sigma N_c \cdot q^2 = 1 + 3 \cdot (4/9 + 1/9) = 8/3 \text{ par génération}$$

Ces trois résultats — $N_c = 3$, $N_{gen} = 3$, et « leptons incolores / quarks colorés » — sont dérivés, non postulés. Ils alimentent directement les pentes de running (Annexes B et D).

Annexe J — La déviation de la lumière et $\gamma = 1$

Une gravité réduite à un champ scalaire prédirait une déviation de la lumière incompatible avec l'observation. Le cadre échappe à cette objection, et voici pourquoi.

1. Ce qui gouverne la métrique. La variable dynamique u (le déplacement normal de l'interface) est un scalaire — mais ce qui gouverne la structure tensorielle de la métrique n'est pas u , c'est la COURBURE EXTRINSÈQUE de Σ , sa dérivée. La courbure d'une surface est tensorielle (K_{ab}), et c'est elle qui porte la déviation, l'avance du périhélie et le décalage spectral.

2. Le résultat. Le paramètre post-newtonien γ , qui mesure la courbure de l'espace par unité de masse, est dérivé exactement :

$$\gamma = 1 \quad \rightarrow \quad \text{déviation solaire} = 1,751 \text{ seconde d'arc}$$

— la valeur d'Eddington et de ses successeurs, obtenue sans calibration (la masse du Soleil est une entrée mesurée, comme dans toute théorie ; la formule de déviation, elle, est dérivée).

Note de traçabilité. Le second paramètre post-newtonien, $\beta = 1$ (exact, par théorème), et $\gamma = 1$ ensemble placent le cadre en accord avec toutes les bornes du système solaire (Cassini, Mercure).

Annexe K — La précession de Mercure et le paramètre $\beta = 1$

L'avance du périhélie de Mercure — 43 secondes d'arc par siècle inexpliquées par Newton — fut le premier triomphe de la relativité générale. Le cadre la retrouve sans paramètre, par ses propres cadences.

1. La cadence. Le ralentissement du temps dans un potentiel gravitationnel Φ est donné, au cadre, par

$$g_{00} = -e^{(2\Phi/c^2)}$$

Cette forme ne s'annule jamais — le temps ralentit sans s'arrêter (pas d'horizon de cadence) — et son développement au second ordre fixe exactement le paramètre post-newtonien qui mesure la non-linéarité de la gravité :

$$\beta = 1 \text{ (exact, théorème T8)}$$

2. Le résultat. La composition des cadences au second ordre engendre l'avance du périhélie :

$$43,0 \text{ secondes d'arc par siècle}$$

— la valeur mesurée, retrouvée sans aucun paramètre ajustable. Avec $\gamma = 1$ (Annexe J), le cadre passe l'ensemble des tests du système solaire.

Annexe L — Les couches électroniques : 2, 8, 18, 32

Les nombres de remplissage des couches électroniques — 2, 8, 18, 32 — sont l'un des faits fondamentaux de la chimie. La physique quantique standard les explique par le principe de Pauli et les nombres quantiques, mais ne les DÉRIVE pas : elle les observe et les codifie. Ici, ils découlent de la géométrie.

1. La symétrie sphérique. Nos trois dimensions spatiales ont une symétrie sphérique — le groupe $SO(3)$. Les dégénérescences de ses représentations, combinées au spin à deux états (les deux faces, le principe de Pauli), donnent la capacité de chaque couche :

$$2, 8, 18, 32 \quad (= 2n^2 \text{ pour } n = 1, 2, 3, 4)$$

2. Ce qui est dérivé, et ce qui ne l'est pas. Les couches ÉLECTRONIQUES (2, 8, 18, 32) tombent de la symétrie $SO(3)$ et du spin. Les nombres magiques NUCLÉAIRES (2, 8, 20, 28...) ne coïncident PAS avec cette suite : le 20 et le 28 exigent le couplage spin-orbite nucléaire fort, dont l'analogie géométrique à l'interface n'est pas encore construit — une direction de travail nommée, non un acquis.

Annexe M — Le terme de surface des rayons nucléaires : le bord aux trois champs

1. Le montage. Un noyau de A nucléons à densité fixe (incompressibilité dérivée) : volume $A \cdot v_0$, $v_0 = (4/3)\pi \cdot a_{\text{nuc}}^3$, $a_{\text{nuc}} = 1,0635$ fm (l'ancre déclarée). Le bord n'est pas net : la densité chute sur une largeur finie. Pour un profil de Fermi de demi-rayon C et de diffusivité z , la conservation du volume s'écrit $A \cdot v_0 = (4\pi/3) \cdot (C^3 + \pi^2 z^2 C)$, d'où, au premier ordre : $C(A) = a_{\text{nuc}} \cdot A^{1/3} \cdot [1 - \pi^2 z^2 / (3a_{\text{nuc}}^2 A^{2/3})]$. Le signe (réduction) et la structure en A (correction décroissante) sont dérivés ; le domaine est le régime goutte ($A \gtrsim 20$).

2. La largeur (S25). La chute s'étale sur la cellule locale de la cascade, $a_{\text{loc}} = (\hbar c / \rho_{\text{nuc}})^{1/4} = 1,019$ fm (conversion 10-90 $\rightarrow$ z de Fermi : facteur 4,394, convention déclarée). S25 : les trois enroulements s'étalent indépendamment, composition en quadrature — $z = \sqrt{3} \cdot a_{\text{loc}} / 4,394 = 0,402$ fm. Correction à $A = 60$: $\pi^2 z^2 / (3a_{\text{nuc}}^2 \cdot 60^{2/3}) = 3,0$ %.

3. Le jugement, dans la bonne observable. Le r_0 des données est un rayon de charge RMS ; pour un profil de Fermi, $\langle r^2 \rangle = (3/5)C^2 \cdot [1 + (7/3)(\pi z/C)^2]$, avec $C(A)$ à volume conservé (point 1), plus la taille propre du proton ($\langle r^2 \rangle_p = 0,709$ fm²) et la peau de charge du neutron ($(N/Z) \cdot \langle r^2 \rangle_n$, $-0,116$ fm²). Dans cette observable, r_0 (RMS) décroît avec A — comme la mesure.

L'ajustement libre, cible scellée, sur deux jeux indépendants de rayons de charge (47 et 65 isotopes stables, de C-12 à U-238) rend $z = 0,397 \pm 0,017$ fm et $z = 0,369$ fm : les deux convergent vers la prédiction (0,402) et excluent le lissage simple (0,232) à dix écarts-types.

Le juge est robuste : un décalage constant de $\langle r^2 \rangle$ de $0,1$ fm² (l'ordre des effets de couches) ne déplace z que de $0,013$ fm. Le résidu de structure (0,05 fm : couches magiques, peau de neutron, déformation) est réel et à moyenne nulle — il ne pèse pas sur le verdict.

Un décalage d'échelle global ($c_0 \approx 1,15$ – $1,17$ fm contre $a_{\text{nuc}} = 1,0635$ — l'échelle de charge contre l'échelle de matière) est nommé à part, non résolu. C'est la même distinction qu'ailleurs dans ce document : R_q , le rayon de charge porté par le doublet, n'est pas R_d , le rayon de densité porté par le singulet.

Note de méthode : un ajustement qui omet la réduction de volume dans $C(A)$ donne $z \approx 0,31$ — ce modèle contredit l'incompressibilité et doit être écarté.

4. Statuts. Forme $C(A)$: dérivée (conservation du volume). Largeur $\sqrt{3}$: dérivée depuis S25 (énoncé-source ; l'étage supérieur — dériver S25 de P1 et de la résidence — est ouvert). Jugement empirique : confirmé sur deux fits indépendants (47–65 isotopes, dix écarts-types du lissage simple). Décalage matière/charge : dette nommée.

Annexe N — Les rayons de charge du proton et du neutron : les deux bornes de présence

1. **Le montage.** Un nucléon porte trois enroulements de charge (annexe H) répartis en un cœur et une périphérie : le cœur au rayon de la cellule propre du proton, $r_c = (4\pi/3) \cdot \hbar c / E_N = 0,880$ fm (fixée par l'énergie seule) ;
2. **La périphérie** au rayon de la cellule de saturation nucléaire, $r_s^0 = 1,019$ fm. Le rayon de charge carré est la somme pondérée par les charges :
 - a. Proton (uud, deux + au cœur, un – en périphérie) $\langle r^2 \rangle_p = (4/3)r_c^2 - (1/3)r_s^2$;
 - b. Neutron (udd, un + au cœur, deux – en périphérie, S24) $\langle r^2 \rangle_n = (2/3)(r_c^2 - r_s^2)$.
3. **Sans autre pièce :**
 - a. Proton $0,687$ fm² (–2,8 %),
 - b. Neutron $-0,176$ fm² ($\times 1,51$ la mesure).

2. Les deux bornes et l'exposant. La compensation de charge coûte à la périphérie une fraction f de son énergie ; à densité de saturation fixe, le volume suit l'énergie : $r_s = r_s^0 \cdot (1 - f)^{1/3}$. La fraction est fixée par les deux bornes de présence du secteur leptonique ($f_e = 1/16$, la borne de l'interface ; $f_\mu = 1/2$, le seuil), resommées sur les passages du seuil : $f = f_e / (1 - f_\mu^n)$, où n est le nombre de passages — dicté par S24 avant tout chiffre : la compensation du neutron est interne (une face, $n = 1$, $f = 1/8$) ; celle du proton est projetée à travers l'interface (deux faces, $n = 2$, $f = 1/12$).

3. Le résultat.

Neutron : $r_s = 0,9746$ fm, $\langle r^2 \rangle_n = -0,1166$ fm² contre $-0,1160$ mesuré (+0,5 %).

Proton : $r_s = 0,9899$ fm, $\langle r^2 \rangle_p = 0,7067$ fm² contre $0,7071$ (–0,1 %).

Contrôle croisé — les exposants échangés :

Le neutron avec $n = 2$ donne $-0,1365$ (+17,7 %, échoue) ;

Le proton avec $n = 1$ donne +1,4 % (le proton, une somme, discrimine faiblement ; le neutron, une différence, est l'instrument de précision).

Vérifié indépendamment par le second lecteur (–0,15 % / +0,9 % / ~ 18 %).

4. Statuts. Rayons r_c , r_s^0 : natifs (cellule propre, cellule de saturation).

Bornes f_e , f_μ : natives (les bouts de la fonction de transition, forcés par les rôles).

Exposant n : dérivé de S24 (interne/projeté).

La forme $1/(1 - f_\mu^n)$: une resommation — structure, non facteur libre — dont l'objet physique reste à dériver : dette nommée.

La grandeur du neutron, cible ouverte de S24, jamais visée — mais voir la réserve du point 5 : elle n'est pas un juge indépendant tant que E_N y entre mesuré.

Statut : candidat fort (voir la réserve du point 5).

5. Une réserve, à dire. Ce calcul emploie l'énergie du nucléon MESURÉE, $E_N = 938,9$ MeV, dans r_c , alors que la section 8 dérive $E_N = 964$ MeV depuis le lieu. Les deux colonnes : avec l'énergie mesurée, $\langle r^2 \rangle_p = 0,7067$ (–0,1 %) et $\langle r^2 \rangle_n = -0,1166$ (+0,5 %) ; avec l'énergie dérivée, $0,6534$ (–7,6 %) et $-0,1433$ (+23,5 %). La sensibilité est structurelle : $\langle r^2 \rangle_n$ est la différence de deux longueurs presque égales et amplifie toute erreur

d'entrée par un facteur 8,9. Il suit que le neutron n'est pas un juge indépendant du mécanisme tant que l'énergie du nucléon y entre mesurée, et que la longueur de coquille employée ici n'a pas été harmonisée avec la cellule. Dette ouverte, dite en S.2.

Annexe O — L'énergie faible : le plan médian de l'interface

1. Le montage. L'épaisseur de l'interface, comptée en échelons d'échelle entre ses deux ancrés :

$L = \ln(a_{\text{vide}}/a_{\text{nuc}}) = \ln(29,2 \mu\text{m} / 1,0635 \text{ fm}) = 24,04$ ($a_{\text{vide}} = 29,2 \mu\text{m}$, $a_{\text{nuc}} = 1,0635 \text{ fm}$) — la tour, la même grandeur que dans $\alpha^{-1} = 2\pi(L-2)(1-d^2)$.

Un tour est un pas de dilatation et vaut 2π échelons d'échelle — l'identité dilatation-enroulement (énoncé-source), celle du col leptonique $R = 2\pi$.

Les deux faces bordent cette épaisseur ; le plan médian est à $L/2 = 12,02$ échelons au-dessus de l'objet-limite (l'électron, hors de l'interface) ;

Les faces de l'interface sont à un demi-tour d'espace, 2π échelons, du centre.

L'objet de départ : l'électron, à la borne de présence ($1/16$), d'énergie $m_e = 0,511 \text{ MeV}$.

2. Le calcul. $E_{\text{médian}} = m_e \cdot e^{(L/2)} = 84,7 \text{ GeV}$. Comparaison : $v(M_W \cdot M_Z) = v(80,369 \times 91,188) = 85,61 \text{ GeV} \rightarrow -1,1 \%$. En échelons : $\ln(M_W/m_e) = 11,966$, $\ln(M_Z/m_e) = 12,092$, $L/2 = 12,020$ — au milieu.

Contrôle de cohérence : $\ln(M_Z/M_W) = 0,126 = -\ln(\cos \theta_W)$ exactement : le Z est le W plus l'angle, pas un tour de plus.

Descente par l'angle dérivé ($\cos \theta_W = 0,8815$) : $M_W = E_{\text{médian}} \cdot v \cos \theta_W = 79,6 \text{ GeV}$; $M_Z = E_{\text{médian}} / v \cos \theta_W = 90,3 \text{ GeV}$; $g^2 = 4\pi\alpha/\sin^2 \theta_W = 0,4247$; $v = 2M_W/g = 244,3 \text{ GeV}$; $G_F = \sqrt{2} \cdot g^2 / (8M_W^2) = 1,185 \times 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$.

3. Les lectures écartées. L'épaisseur entière (24 échelons) : 10^7 GeV , rien n'y vit. Le compte en demi-tours de présence depuis le nucléon : 2,5–7 GeV (le compteur de présence n'est pas le compteur d'énergie).

L'entier 12 (les douze rotations du repère) : 83,2 GeV, +3,5 % sur W — coïncidence avec $L/2$; « $L = 24$ exactement » est exclu par les masses (document cadre).

Les départs depuis le tau, le muon ou le nucléon : aucun ne tombe sur une fraction native.

4. Statuts. Entrées : ρ_Λ , ρ_{nuc} (ancres), m_e (constante déclarée), l'angle (dérivé) — aucune nouvelle.

Lectures non dérivées : « l'épaisseur = la tour L » ; « la bascule au plan médian » (motivée par l'équivalence des faces — une symétrie donne un centre, non une orientation).

Résidu $-1,1 \%$, de l'ordre de l'incertitude de a_{nuc} (1 % sur l'ancre déplace L de 0,01).

Statut : candidat fort ; l'échelle faible sort de quarantaine. Le lien au mode instable $\omega^2 = k^2 - B$ (le centre de la bosse croît–culmine–décroît) est une identification à contresigner.

Une précision à dire : calculé en chaîne native, c'est-à-dire avec la masse de l'électron dérivée et non mesurée, le plan médian vaut $M_{\text{cadre}} \cdot e^{(-12\pi)} = 84,3 \text{ GeV}$, soit 1,5 % sous $v(M_W \cdot M_Z)$; les deux exponentielles s'annulent et le résultat ne dépend plus de L . Les 84,7 GeV ci-dessus emploient la masse mesurée de l'électron ; les deux routes coïncident donc à 0,4 % — un contrôle de cohérence interne que l'ancienne tour ne donnait pas.

Annexe P — La vallée de stabilité : ce qui tient le noyau

1. Les deux coûts. Cœurs nus : Z torsions nettes +1 (la compensation du proton est projetée au loin, S24) dans une boule $R = a_{\text{nuc}} \cdot A^{(1/3)}$, avec le potentiel en $1/r$ dérivé ($\alpha = 1/137,44$) : $E_c = a_c \cdot Z^2 / A^{(1/3)}$, $a_c = (3/5) \cdot \alpha \cdot \hbar c / a_{\text{nuc}} = 0,804 \text{ MeV}$.

Asymétrie :

(i) l'exclusion — deux espèces sur deux échelles ; $k_F = (3\pi^2 \rho / 2)^{(1/3)}$ avec $\rho = 3 / (4\pi \cdot a_{\text{nuc}}^3) = 0,195 \text{ fm}^{-3}$, $E_F = (\hbar c \cdot k_F)^2 / (2E_N) = 42,0 \text{ MeV}$, part cinétique $E_F/3 = 14,0 \text{ MeV}$;

(ii) le croisement p–n au plan médian — une seule tentative (la paire corrélée tient : observation), coût $f_e = 1/16$ de la coquille périphérique (333 MeV) = 20,8 MeV. $S_v = 34,8 \text{ MeV}$ (mesuré : $31,6 \pm 2,2$).

2. La réduction de surface. Les cellules de la couche superficielle sont engagées à moitié (S25) ; ce qui manque à la surface a l'épaisseur d'une demi-cellule : $\delta = a_{\text{nuc}}/2 = 0,535 \text{ fm}$.

Fraction en surface $3\delta/R$: $a_{\text{sym}}(A) = S_v \cdot (1 - 3\delta/R)$.

Autres épaisseurs natives testées : le bord $z = 0,402 \text{ fm}$ (S25), la cellule réduite $a/\sqrt{3} = 0,618 \text{ fm}$, la cellule $a = 1,0635 \text{ fm}$.

3. Le résultat. Au rayon de la sphère uniforme équivalente, $r_o = 1,20 \text{ fm}$ (la convention des formules employées) : $a_c = 0,716 \text{ MeV}$ (mesuré 0,71), exclusion 11,1 MeV, $S_o = 31,9 \text{ MeV}$ (mesuré $31,6 \pm 2,2$), résonance dipolaire géante reproduite (+0,0 % en moyenne sur Pb, Sn, Zr, Fe). Vallée, $N/Z - 1 = a_c \cdot A^{(2/3)} / (2 \cdot a_{\text{sym}}(A))$ avec $\delta = r_o/\sqrt{3}$: Sn-120 1,369 (obs 1,400), Pb-208 1,509 (1,537), U-238 1,551 (1,587) — $\text{rms}(A \geq 90) = 0,039$; fit libre de $\delta : 0,74 \text{ fm}$.

Noyaux légers ($A < 90$) : la structure de couches (paliers aux N et Z magiques) domine.

4. Statuts. Structure : dérivée (deux coûts, surface en cellules, réduction de surface par partage — aucune force, aucun Coulomb posé, aucune goutte). a_c , exclusion : dérivés à l'échelle r_o .

Croisement (20,8) : candidat fort à juge indépendant (S_o). $r_o = 1,20$: le rayon de charge, qui suit le doublet ;

L'ancre 1,0635 est le rayon de densité, qui suit le singulet — deux extensions distinctes, non deux conventions — le rapport 1,12 est une conversion de conventions (rms→uniforme, léger→lourd), non un objet natif ;

Les lectures « face sur deux » et « empilement » sont écartées. Trois juges fermés ensemble (a_c , S_o , résonance) ;

La vallée à 2 %. Contre-lu par le second lecteur (3 septembre 2026). Le coefficient d'appariement des légers : $W = 3 \times E_{\text{cross}} = 62 \text{ MeV}$ — un nucléon sans partenaire déséquilibre les trois champs (trois résidences, S26) ;

Fit libre en Z continu 2,9–3,1 $\times E_{\text{cross}}$; candidat fort (6 septembre 2026). Dettes : δ à l'échelle r_o ;

La largeur des paliers ;

La règle de rétention par une face.

Annexe Q — Les trois forces : la règle de variation, les trois lignes depuis les ancres, la force entre deux couleurs

1. La structure. Les douze rotations du repère de l'interface se décomposent en trois algèbres : $u(1)$ (la phase, 1 générateur), $su(2)$ (les deux faces, 3), $su(3)$ (les trois champs, 8) — $1 + 3 + 8 = 12$ (section 8.1, Annexes C, I).

Le coût statique est le même pour les trois à l'ordre quadratique : $c_3 = \frac{1}{2}$ (T16). Les charges : la phase porte le nombre d'enroulements Q ;

Les faces portent $T_3 = \pm \frac{1}{2}$ (l'appartenance de face, S21) ;

Les champs portent la résidence (la couleur), avec le Casimir $C_F = 4/3$ de la fondamentale et $C_A = 3$ de l'adjointe ;

Pour les faces, $C_A = 2$.

$$12 = 1 + 3 + 8 \rightarrow u(1) \oplus su(2) \oplus su(3) ; c_3 = \frac{1}{2} \text{ pour chacune}$$

2. La loi de variation. Le cadre n'a pas de couplage qui court : une réponse qui sature, et dont la décroissance avec la finesse de la sonde est une pente constante par échelon en $1/\alpha$ (la loi dérivée au chantier de la lumière pour la phase, 0,21218 par échelon et par enroulement chargé — Annexe B).

Règle S27 : seules les sources présentes à l'échelle μ répondent (un enroulement d'énergie propre m ne compte que pour $\mu > m$). Pente : $b_i(\mu) = (11/3) \cdot N_i - (2/3) \cdot \Sigma_{\text{présents}} T_i$, N_i le nombre d'éléments que la structure permute (trois champs, deux faces, zéro pour la phase — égal, par conséquence et non par emprunt, au Casimir C_A de l'algèbre dérivée).

Le $11/3$: $12 - 1$ = le moment du porteur ($3\kappa^2$, $\kappa = 2$) moins sa réponse orbitale, par élément.

Sources : champs — $(2/3)$ par quark présent ; faces — $(2/3) \cdot (\frac{1}{2}) = \frac{1}{3}$ par doublet de gauche présent (leptons 1, quarks 3 couleurs par génération) ;

Phase — sous le Z : $(2/3\pi) \cdot Q^2 \cdot N_c$ en $1/\alpha$; au-dessus : $(2/3)(3/5) \cdot Y^2$ avec $\Sigma_{\text{Weyl}} Y^2 = 10/3$ par génération.

Higgs natif : singulet, 0. Résultats : $b_3 = 11 - 4 = 7$; $b_2 = 22/3 - 4 = 10/3$; $b_1 = -4$ (le Modèle Standard avec un doublet de Higgs : $19/6$ et $-41/10$).

$$b_i(\mu) = (11/3) \cdot N_i - (2/3) \cdot \Sigma_{\text{présents}} T_i \rightarrow b_3 = 7, b_2 = 10/3, b_1 = -4$$

3. Les trois lignes depuis les ancres (aucune valeur mesurée au Z en entrée).

Phase : $1/\alpha = 137,44$ à l'échelle du vide, puis $-(2/3\pi) \cdot \Sigma Q^2 \cdot N_c \cdot \ln(\mu/m)$ sur $e, \mu, \tau, u, d, s, c, b, t \rightarrow 1/\alpha(M_Z) = 126,97$ (mesuré 127,95 ; $-0,8\%$).

Champs : plateau nu $\alpha_0 = g^2 = 1$ au lieu $\ell_c = a/\sqrt{3}$ (321 MeV), $b_3(N)$ avec $N = 3, 4, 5, 6$ aux masses $m_c, m_b, m_t \rightarrow \alpha_s(M_Z) = 0,120$ (mesuré 0,1179 ; $+2\%$).

Faces : condition $\sin^2 \theta_W = 3/8$ à μ_{12} ($1/\alpha_1 = (3/5)(1 - \sin^2)/\alpha$, $1/\alpha_2 = \sin^2/\alpha$), pentes b_1, b_2 au-dessus du Z , puis descente jusqu'au $Z \rightarrow \sin^2 \theta_W(M_Z) = 0,229$ avec $\mu_{12} = 1,0 \times 10^{13}$ GeV (mesuré 0,2312 ; -1%).

Les deux autres rendez-vous, prédits : $1/\alpha_1 = 1/\alpha_3$ à $2,2 \times 10^{14}$ GeV ; $1/\alpha_2 = 1/\alpha_3$ à $7,2 \times 10^{16}$; à μ_{12} , $1/\alpha_1 = 1/\alpha_2 = 42,1$ et $1/\alpha_3 = 36,8$ (–12 %). Table (ln μ /GeV : $1/\alpha_1$, $1/\alpha_2$, $1/\alpha_3$) — 4,5 : 58,8 / 29,3 / 8,3 ; 20 : 48,6 / 37,1 / 25,6 ; 30 : 42,1 / 42,2 / 36,8 ; 34 : 39,5 / 44,2 / 41,2 ; 40 : 35,6 / 47,2 / 47,9.

$$1/\alpha(M_Z) = 126,97 ; \alpha_s(M_Z) = 0,120 ; \sin^2\theta_W(M_Z) = 0,229 \text{ (mesurés)} \\ 127,95 ; 0,118 ; 0,2312$$

4. L'échelle faible. L'épaisseur de l'interface en échelons est la tour $L = \ln(29,2 \mu\text{m} / 1,0635 \text{ fm}) = 24,04$;

Le changement de face se paie au plan médian, $L/2$: $E_{\text{médian}} = m_e \cdot e^{L/2} = 84,7 \text{ GeV}$ contre $v(M_W \cdot M_Z) = 85,61$ à $-1,1 \%$; $M_W = E_{\text{médian}} \cdot v \cos \theta_W = 79,6 \text{ GeV}$, $M_Z = E_{\text{médian}} / v \cos \theta_W = 90,3$, $v = 2M_W/g = 244,3$, $G_F = \sqrt{2} \cdot g^2 / (8M_W^2) = 1,185 \times 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$ (Annexe O).

L'ordre de la force faible croît—culmine—décroît : le mode du porteur $\omega^2 = k^2 - B$, instable sous $B = E_{\text{médian}}^2$.

$$E_{\text{médian}} = m_e \cdot e^{L/2} = 84,7 \text{ GeV} \text{ (juge : } v(M_W \cdot M_Z) = 85,61) ; M_W = 79,6, \\ M_Z = 90,3 \text{ GeV}$$

5. La force entre deux couleurs. Écarter deux couleurs déplace deux champs l'un par rapport à l'autre — le doublet, raideur kq^4 sans rappel à grande distance : réponse linéaire, force constante, $T = 3 \cdot g^2 / (8\pi \cdot \kappa \cdot \ell)$ avec les trois champs qui résistent ($N = 3$), $g = E_N$ (l'objet entier, les trois enroulements inséparables), $\ell = a/\sqrt{3}$ et $\kappa = \hbar c/a$ — d'où $T = 3\sqrt{3} \cdot E_N^2 / (8\pi \hbar c) = 924 \text{ MeV/fm}$ ($vT \cdot \hbar c = 427 \text{ MeV}$; Regge 420–440).

À courte distance, un quark n'est pas un objet mais une résidence : deux quarks plus proches que ℓ_c sont un motif déformé dans sa cellule ;

La force est la réponse du milieu à une sonde, pesée par la présence de la couleur déplacée, $f(r) = (\frac{1}{2})^{(2r/\ell_c)}$ (une moitié par demi-tour, un tour = ℓ_c) : $F(r) = T + (4/3) \cdot \alpha(\hbar c/r) \cdot f(r) \cdot \hbar c/r^2$.

Contre la force mesurée sur réseau ($F = \sigma + e \cdot \hbar c/r^2$, $e \approx 0,29$), le facteur de présence reproduit le coefficient de 0,05 à 0,62 fm à 7 % sans paramètre — candidat fort, forme non exclusive dans la marge de la cible ($\pm 9 \%$).

$$T = 3\sqrt{3} \cdot E_N^2 / (8\pi \hbar c) = 924 \text{ MeV/fm} ; F(r) = T + (4/3) \cdot \alpha(\hbar c/r) \cdot (\frac{1}{2})^{(2r/\ell_c)} \cdot \hbar c/r^2$$

6. Statuts et dettes. Dérivés : la structure (1), le coût $\frac{1}{2}$, le $11/3$ par unité, b_3 , la pente de la phase sous le Z, α , l'angle $3/8$, T_{rappel} (candidat fort, un juge). Énoncé-source : S27 (le seuil d'échelle des sources). Candidats : le plateau nu au lieu ; l'échelle faible (deux lectures : l'épaisseur = la tour, la bascule au médian) ; le facteur de présence ; la descente comme compte à rebours du repère ($12 \rightarrow 11 \rightarrow 9 \rightarrow 8$ demi-tours de π depuis le médian, la borne à Planck réduit à 0,2 échelon — jugée par une échelle jamais entrée au cadre). Dettes : la phrase qui fait du compte à rebours un théorème ; pourquoi la profondeur de l'objet-limite vaut la moitié de la tour des ancras ; le facteur de motif : P5 sous l'identité tour = pas = longueur (dérivé) ; reste la précision de la cible ($\pm 9 \%$).

7. La masse de l'électron depuis les ancras.

(i) La tension : $\sigma = 4,1 \times 10^{16} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$, ancre de structure — sa valeur est lue sur la gravité ($\sigma = v(c^4 \rho_{\Lambda} / 12\pi G) = 4,125 \times 10^{16}$).

La seconde route, par l'expansion ($\sigma = \rho_{\Lambda} \cdot c / (\sqrt{3} \cdot H_0) = 4,20 \times 10^{16}$), n'est pas une vérification indépendante : les deux ne coïncident que si $\Omega_{\Lambda} = 2/3$ exactement, et leur écart (2 % ici) mesure l'écart à cette valeur — le même fait que la tension de $2,5\sigma$, vu de l'autre côté.

Il ne fournit donc aucun budget d'erreur pour d'autres résultats.

(ii) La masse absolue des ancrés : $M_{\text{cadre}} = \sigma \cdot \sqrt{\hbar / (c^3 \rho_{\Lambda})} = 3,523 \times 10^{-9} \text{ kg} = 1,976 \times 10^{18} \text{ GeV}$ — la masse de Planck du cadre, définie par la loi émergente $G = c^4 \rho_{\Lambda} / (12\pi \sigma^2)$; avec G mesuré, $M_P / \sqrt{12\pi} = 1,988 \times 10^{18}$ (accord à 0,6 %).

(iii) La borne de la naissance (S28) : $E_{\text{médian}} \cdot e^{(12\pi)}$, douze demi-tours de π échelons au-dessus du plan médian ;

La conversion π échelons par demi-tour est l'identité dilatation-enroulement (énoncé-source ; $R = 2\pi$ au col, jugée à 0,27 %) ; borne = M_{cadre} à 3 %.

(iv) Le centre : $E_{\text{médian}} = m_e \cdot e^{(L/2)}$, $L = \ln(29,2 \text{ } \mu\text{m} / 1,0635 \text{ fm}) = 24,04$; lecture de la source jugée par l'énergie faible (84,7 GeV contre $\sqrt{M_W \cdot M_Z} = 85,61$ à -1,1 %).

(v) La masse : $m_e = M_{\text{cadre}} \cdot e^{(-12\pi - L/2)} = 1,976 \times 10^{18} \text{ GeV} \times 2,504 \times 10^{-22} = 0,5089 \text{ MeV}$, mesuré 0,5110 (-0,4 %). Sensibilité : $m_e \propto (\rho_{\Lambda} / \rho_{\text{nuc}})^{(1/8)}$ — 2 % sur ρ_{Λ} donnent 0,25 % ;

L'écart de -0,4 % est réel, non couvert. Ordre des opérations : la loi G , la loi de cascade, la lecture du médian, la carte en demi-tours (11, 9, 8) et S28 précèdent ce calcul ;

G entre par $M_{\text{cadre}} = \sqrt{\hbar c / 12\pi G}$; ce qui est testé est le rapport $e^{(-12\pi - L/2)} = m_e / M_{\text{cadre}}$. Dérivés : la loi de cascade, L , les douze rotations ; émergents : G , R_{Σ} , T ; posés et jugés : la conversion du demi-tour, le médian à $L/2$ de l'objet-limite.

Conséquence à 0,4 % depuis les trois propriétés des champs, candidate forte ; contourne le théorème de l'échelle bornée par le haut.

$$m_e = \sigma \cdot \sqrt{\hbar / (c^3 \rho_{\Lambda})} \cdot e^{(-12\pi - L/2)} = 0,509 \text{ MeV} \quad (\text{mesuré } 0,511 ; -0,4 \%)$$

Annexe R — Glossaire des symboles

Chaque symbole du cadre : son nom, ce qu'il signifie physiquement, ses unités, et — quand il existe — son équivalent dans le langage usuel de la physique. Construit depuis le formulaire du document cadre. Les valeurs calibrées sont rappelées entre parenthèses.

Symbole	Ce que c'est	Unités	Équivalent usuel / repère
σ	La tension de l'interface — la raideur du milieu, sa grandeur la plus fondamentale ($\approx 4,1 \times 10^{16}$ J/m ² pour l'interface entière ; locale : $\approx 3,1 \times 10^{19}$ au nucléon)	J·m ⁻²	<i>Tension de membrane ; joue le rôle que la constante de couplage joue ailleurs</i>
κ	La rigidité de courbure — le coût de plier l'interface finement ($\kappa = \sigma a^2$)	J	<i>Rigidité de flexion (bending stiffness) d'une membrane</i>
a	L'échelle propre, $a = \sqrt{\kappa/\sigma}$ $\approx 29,2$ μm — la « cellule » du vide : rien n'est résolu en dessous, tout s'y moyenne	m	<i>Échelle de coupure ultraviolette naturelle ; échelle de résolution du milieu</i>
λ	La cellule réduite, $a/\sqrt{3} \approx 16,9$ μm — la portée de l'extinction gravitationnelle de courte distance	m	<i>Portée d'un terme de Yukawa ($\alpha = -1$ exactement)</i>
k	La courbure de fermeture, $k = \rho_{\Lambda}/\sigma \approx 1,3 \times 10^{-26}$ m ⁻¹ — la courbure résiduelle de l'interface fermée	m ⁻¹	<i>L'inverse d'un rayon cosmologique ; source commune de H_0 et de a_0</i>
R_{Σ}	Le rayon de fermeture, $3\sigma/\rho_{\Lambda} \approx 2,3 \times 10^{26}$ m — l'extension de l'interface	m	<i>Comparable au rayon de Hubble (mais fixe — c'est $c/H(t)$ qui le croise aujourd'hui)</i>
u	Le déplacement normal de l'interface — LA variable dynamique du cadre	m	<i>Le champ scalaire de déplacement d'une membrane ; sa courbure est tensorielle (K_{ab})</i>
$\text{Tr}(K)$	La trace de la courbure extrinsèque — combien l'interface est bombée localement	m ⁻¹	<i>Courbure moyenne ($\times 2$) d'une surface ; $\partial_{ad} b$ u au premier ordre</i>
T	Le paramètre d'ordre, $T = \sigma \cdot \text{Tr}(K)$ — la grandeur fondamentale unique : la tension fois la courbure	J·m ⁻³	<i>Une pression (J/m³ = N/m²) ; l'opérateur hermitien de P4, statistique GUE</i>
ρ_E	Une densité d'énergie locale — la source de l'équation de champ	J·m ⁻³	<i>Le membre de droite : ce qui presse sur le milieu</i>
ρ_{Λ}	La densité d'énergie du vide — L'ANCRE dimensionnelle unique du cadre ($\approx 5,3 \times 10^{-10}$ J·m ⁻³), identifiée au point zéro coupé à l'échelle propre : $\rho_{\Lambda} = \sigma \cdot k$	J·m ⁻³	<i>La constante cosmologique Λ (sous forme de densité)</i>

E	L'énergie de repos d'un objet	J	mc^2 — mais la masse n'est pas primitive ici : E l'est
A	L'amplitude du profil d'un objet, $A = E/(12\pi\sigma)$ — la « taille » de sa déformation	m^2	Le poids de la source dans le pli qu'elle creuse
ℓ_E	La longueur associée à un objet, $\ell_E = k \cdot A$	m	Le bras de levier gravitationnel de l'objet ($E_{int} = -E_1 E_2 / (12\pi\sigma r)$)
c_a	La vitesse propre de l'interface, $c/\sqrt{3}$	$m \cdot s^{-1}$	La vitesse du son du milieu (le c observé est celui du singulet)
q	Le nombre d'onde d'un mode	m^{-1}	Le vecteur d'onde usuel ; $x = a \cdot q$ est son poids sans dimension
x	Selon le contexte : la pente $ \nabla u_N $ (sans dimension), ou le poids d'un mode $a \cdot q$, ou la variable galactique g_N/a_0	—	Toujours défini localement dans sa section — trois usages distincts
ϵ	La variable de saturation, $\epsilon = \rho_E \cdot a / (\sigma \sqrt{3})$ — linéaire pour $\epsilon \ll 1$, saturé à $\epsilon = 1$	—	La distance à la frontière quantique-classique ($\rho_{max} = 27 \text{ g/cm}^3 \leftrightarrow \epsilon = 1$)
β	Le paramètre de saturation, $\beta = \sigma/k = 1/a^2$	m^{-2}	Ne pas confondre avec le β PPN (= 1, théorème T8) — contexte toujours explicite
k_F	Le coefficient de pente des King plots — la calibration de la forme saturante	$\text{MHz} \cdot \text{fm}^{-2}$	Le couplage aux déplacements isotopiques (spectroscopie)
W	Le recouvrement de configurations de deux branches d'une superposition	—	Mesure l'ORTHOGONALITÉ des branches, pas leur décohérence (S23)
$\langle v_{q^2} \rangle$	La fluctuation de point zéro du mode q, $\hbar/(2p_i c q)$, avec $\rho_i = 3\sigma/c^2$	m^4 (densité spectrale)	Le vide quantique du milieu, mode par mode
$n(x)$	La loi de capacité, $9\sqrt{(1+x^2/3)}/x^5$ — combien de modes une région de poids x peut porter	—	Densité d'états contrainte par le plafond de courbure
d	La fluctuation du secteur leptonique, $d = 4,9^\circ$ (mesuré) — dans Rapport = $8/15 \times (1-d^2)$	rad ou $^\circ$	L'angle de fluctuation du cercle de Koide
R^*	La constante mesurée du secteur leptonique, 6,266 — le taux d'enroulement (non dérivé, théorème T23)	—	Une constante de couplage : une par secteur, déclarée
a_0	Le seuil d'accélération galactique, $(5/48) \cdot c^2 k = 1,203 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$ — dérivé	$m \cdot s^{-2}$	Le a_0 que MOND pose empiriquement ; ici une conséquence de k
K_+, K_-	Les opérateurs de forme des deux normales de l'interface	—	Leur commutateur $(i/2)[K_+, K_-]$ EST le photon (le champ F)
N	Le nombre de champs, $N = 3 = d$	—	La source de : trois couleurs, trois générations, la gaussianité du CMB
b_0	Le coefficient du running de	—	Le b_0 de la

	la force forte, $11 - 4 = 7$		<i>chromodynamique (11 du porteur dérivé, 4 du contenu dérivé)</i>
γ, β (PPN)	Les paramètres post-newtoniens : $\gamma = 1$ (dérivé, T21), $\beta = 1$ (exact, T8)	—	<i>Les jauges de toute théorie de gravité face à Cassini et Mercure</i>
demi-tour	Une rotation de π radians : une excitation passe de l'autre côté de Σ et sa présence est divisée par deux. Un seul objet ; ce qu'il coûte dépend du contexte : π échelons d'échelle au repère (la naissance, S28 ; le fond diffus) ; $\frac{1}{2}$ échelon à la réponse du milieu (le rebond du couplage) ; $\ell_c/2$ à une couleur déplacée (le facteur de motif) ; une direction à la présence seule (le plancher $(\frac{1}{2})^4$). Un tour = 2π ; la tour $L = 24,04$ échelons = 3,825 tours.	rad ; échelons selon contexte	La conversion au repère (un tour = 2π échelons) est l'identité dilatation-enroulement (énoncé-source, section 5) — un e-fold et un tour de phase sont un seul mouvement ; principe posé, jugé par le col ($R = 2\pi$; $R^* = 6,266, 0,27\%$), le running du photon, Planck, les rendez-vous, le fond diffus. La conversion à la réponse ($\frac{1}{2}$ échelon) est jugée séparément.
R_d	Le rayon de densité : l'extension de ce qui pèse, portée par le singulet. C'est lui qui compte les nucléons et qui entre dans toute formule de volume.	fm (m)	Rayon de la sphère uniforme équivalente en matière ; $1,1427 \cdot A^{(1/3)}$ fm pour un noyau
R_q	Le rayon de charge : l'extension de ce qui porte la charge, portée par le doublet. C'est lui que mesurent la diffusion d'électrons et la spectroscopie, et il entre dans les formules de coût électrostatique.	fm (m)	Rayon de charge mesuré ; $\approx 1,20 \cdot A^{(1/3)}$ fm pour un noyau. $R_q > R_d$: leur écart est la peau de neutrons
a_{nuc}	La cellule de la matière au plafond — l'ancre nucléaire. Fixée à l'intérieur, par l'accord de la cascade et du contenu (1,0635 fm).	fm (m)	Aucun équivalent direct ; liée à la densité de saturation
n_0	La densité de saturation : le nombre de nucléons par volume dans la matière nucléaire. Un compte, sans masse — la seule entrée mesurée du secteur.	fm^{-3}	0,16 nucléon/ fm^3

Annexe S — Ce qu'un lecteur seul doit pouvoir vérifier

Cette annexe rassemble les définitions, les entrées et les points faibles que le corps du texte suppose connus. Elle est écrite pour que ce document se lise sans le document cadre.

S.1 — La tour L, définition unique. $L = \ln(a_{\text{vide}}/a_{\text{nuc}})$, un rapport de deux longueurs, non de deux densités. $a_{\text{nuc}} = 1,0635 \text{ fm}$ est la cellule de la matière au plafond. Elle n'est pas lue au dehors : elle est fixée à l'intérieur, en exigeant que les deux lois du cadre s'accordent à la densité nucléaire — la cascade, $\rho = \hbar c/a^4$, et le contenu, $\rho = n_0 \cdot E_N$ avec $E_N = 3\sqrt{3} \cdot \hbar c/a$.

$$\hbar c/a^4 = n_0 \cdot 3\sqrt{3} \cdot \hbar c/a \Leftrightarrow a^3 = 1/(3\sqrt{3} \cdot n_0) \Rightarrow a_{\text{nuc}} = 1,0635 \text{ fm}$$

Ce n'est pas une vérification numérique mais une condition interne, dont la seule entrée mesurée est $n_0 = 0,16 \text{ nucléon/fm}^3$, un compte par volume sans masse.

Les densités et les masses mesurées ne sont donc pas des entrées mais des juges. $a_{\text{vide}} = \sqrt{(\kappa/\sigma)} = 29,2 \text{ }\mu\text{m}$ est la cellule du vide : La cascade nue donnerait $(\hbar c/\rho_{\Lambda})^{1/4} = 87,9 \text{ }\mu\text{m}$; le rapport de trois entre les deux n'est pas expliqué — voir les deux précisions ci-dessous.

$$L = \ln(a_{\text{vide}} / a_{\text{nuc}}) = \ln(29,2 \text{ }\mu\text{m} / 1,0635 \text{ fm}) = 24,036$$

C'est la seule définition employée dans ce document ; toutes les lignes qui utilisent L — la constante de structure fine, le plan médian, la masse de l'électron — sont calculées avec elle.

Deux précisions sur L, dites franchement. D'abord, la borne diluée admet deux lectures — la cellule d'un champ pris isolément (29,2 μm , employée ici) et le plancher de cascade (87,9 μm). Le choix entre elles n'est pas dérivé : il est fait par cohérence d'emploi. La cellule comptée est celle qui sert partout ailleurs dans le cadre — c'est elle qui donne 16,9 μm , l'échelle du mode collectif, qui porte la portée gravitationnelle courte, le seuil de densité et la masse minimale d'un trou noir — tandis que le plancher de cascade n'est employé comme cellule nulle part.

Ensuite, le rapport de trois entre les deux n'est pas expliqué. L'attribuer au comptage des fluctuations de point zéro ne suffit pas, et l'arithmétique le montre : un facteur trois en longueur est un facteur quatre-vingt-un en densité, alors qu'un demi par mode sur trois modes n'en donne que trois demis. Le cadre ne prétend donc pas expliquer ce facteur ; il le pose comme sa dette dominante.

Ce que ce choix commande, et il faut le chiffrer : avec le plancher de cascade, $L = 25,14$, la constante de structure fine passe à 144,3 (+5,3 %) et la masse de l'électron à 0,293 MeV, soit -43 %. La ligne la plus forte du document dépend donc d'un choix que le document déclare non dérivé. C'est la dette dominante du cadre, et le lecteur doit pouvoir la peser.

Enfin, le facteur trois entre ces deux bornes n'est pas le facteur « trois champs » : celui-là vaut $\div\sqrt{3}$ et donne 16,9 μm , l'échelle du mode collectif, qui porte la portée gravitationnelle courte, le seuil de densité et la masse minimale d'un trou noir.

S.2 — Les rayons de charge : les deux colonnes. Le calcul emploie deux longueurs : la cellule propre $r_c = (4\pi/3) \cdot \hbar c/E_N$, et une longueur de coquille bâtie sur la cellule de cascade à la densité nucléaire (1,019 fm). Il est fait avec E_N mesuré, non avec E_N dérivé en 8.3. Avec $E_N = 938,9 \text{ MeV}$ (mesuré) : $\langle r^2 \rangle_p = 0,7067 \text{ fm}^2$ (-0,1 %) et $\langle r^2 \rangle_n = -0,1166 \text{ fm}^2$ (+0,5 %).

Avec $E_N = 964,1$ MeV (la valeur dérivée sous la cellule harmonisée) : $\langle r^2 \rangle_p = 0,6534 \text{ fm}^2$ (−7,6 %) et $\langle r^2 \rangle_n = -0,1433 \text{ fm}^2$ (+23,5 %). La sensibilité est structurelle : $\langle r^2 \rangle_n$ est la différence de deux longueurs presque égales et amplifie toute erreur d'entrée par un facteur 8,9.

À retenir : le rayon du neutron n'est pas un juge indépendant du mécanisme tant que l'énergie du nucléon y entre mesurée, et le contrôle croisé invoqué là (l'échange des exposants casse à 18 %) est du même ordre que cet écart d'entrée.

Convention de notation, valable dans tout ce document. Puisque la densité et la charge ne vivent pas sur le même mode, un objet a deux extensions et il faut toujours dire laquelle. On écrit R_d le rayon de densité — celui qui compte les nucléons, porté par le singulet — et R_q le rayon de charge — celui que mesurent les expériences de diffusion d'électrons et la spectroscopie, porté par le doublet.

Les valeurs de référence : pour la matière nucléaire, $R_d = 1,1427 \cdot A^{(1/3)} \text{ fm}$ et $R_q \approx 1,20 \cdot A^{(1/3)} \text{ fm}$; pour le nucléon seul, R_d suit la cellule 1,0635 fm et R_q les rayons de charge mesurés. Règle de lecture : un rayon nommé sans qualificatif dans ce document est un rayon de densité ; toute comparaison à une mesure de charge est signalée comme telle.

Les formules de coût du secteur nucléaire (Coulomb, exclusion, croisement) sont des formules de sphère uniforme et prennent R_q , parce qu'elles décrivent la répartition des charges ; les formules de volume et de comptage prennent R_d .

S.2bis — Deux rayons, deux modes, et une conséquence vérifiée. La densité d'un objet vit sur le singulet, sa charge sur le doublet : un rayon de densité et un rayon de charge ne mesurent pas la même chose, et leur écart n'est pas une imprécision.

Dans un noyau, cet écart devient observable, parce que seuls les protons portent la charge tandis que la densité compte tous les nucléons.

Le cadre prédit donc, sans paramètre : le rayon de densité déborde le rayon de charge proportionnellement à l'excès de neutrons $(N - Z)/A$, et l'écart s'annule exactement quand $N = Z$. C'est ce que la physique nucléaire appelle la peau de neutrons.

Sur six noyaux mesurés — calcium-40, nickel-58, étain-116, calcium-48, étain-124, plomb-208 — la corrélation vaut 0,914, la pente $0,915 \pm 0,076 \text{ fm}$, et le calcium-40, à $N = Z$, donne une peau compatible avec zéro. Le cadre rend le signe, la loi et le point de contrôle ; il ne rend pas encore la pente, qui demanderait le profil de répartition des deux modes.

Et cette distinction explique la dérive du rayon de charge aux noyaux lourds, longtemps attribuée à un seul terme de surface. Deux effets s'y superposent, de même signe : le terme de surface, qui agit aussi sur les noyaux symétriques, et la peau, qui n'agit que sur les noyaux à excès de neutrons.

Les données les séparent : ajusté sur les seuls noyaux à $N = Z$, le terme de surface reproduit carbone-12, oxygène-16 et calcium-40 à un demi pour cent, et le coefficient extrapolé à l'infini, 1,146 fm, tombe à trois millièmes du rayon de comptage qu'exige la densité — ce qui n'était pas visé. La peau, ajoutée ensuite sans nouveau paramètre, ramène les écarts des noyaux lourds de quatre ou cinq pour cent à un ou deux.

Il reste un résidu d'un à deux pour cent, nommé.

S.3 — Le seuil de densité : sur quelle échelle il se moyenne.

$$\rho_{\text{max}} = \sqrt{3} \cdot \sigma / (a \cdot c^2) = 27 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$$

: c'est la densité d'énergie qui sature une cellule du vide — la tension répartie sur la cellule réduite. La moyenne se fait donc sur la cellule du vide (29,2 μm ; 16,9 μm pour le mode collectif), non sur le volume d'un noyau ni d'un atome.

C'est pourquoi un noyau, dont la densité locale dépasse ce seuil de treize ordres, n'est pas concerné : ce qui compte est la densité d'énergie moyennée sur la cellule où se joue la cohérence de phase. Le seuil est une propriété locale de l'arène, non une propriété de l'objet.

S.4 — Le secteur galactique : d'où viennent ses deux coefficients. Ce sont eux qui portent la prédiction phare, et ils ne doivent pas rester en renvoi : voici leur dérivation complète.

Le seuil. Le rayon où le gradient de la perturbation métrique croise la courbure du fond — le rayon de croisement — s'écrit avec les seules grandeurs de l'objet, son énergie E et la tension σ , où $A = E/(12\pi\sigma)$ est la constante de forme du champ propre de la source :

$$r_t = \sqrt{2A} = \sqrt{E/(6\pi\sigma)}$$

Au-dessus de ce rayon, le gradient de la perturbation varie vite devant la courbure du fond : celui-ci reste invisible et la dynamique est newtonienne. En dessous, la perturbation varie plus lentement que le fond ne courbe, et le développement autour d'un fond plat perd son sens — c'est là que la dynamique dévie. Comme E croît avec la masse, le seuil croît comme $\sqrt{M}$: il n'est pas universel, et la position de la marche se déplace d'un système à l'autre.

L'accélération à ce rayon ne dépend plus de la source. En y évaluant la valeur newtonienne, la masse se simplifie contre l'énergie :

$$a(r_t) = GM/r_t^2 = 6\pi\sigma \cdot GM/E = 6\pi G\sigma/c^2 = c^2 k/2 = 5,77 \times 10^{-10} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

C'est l'échelle unique à laquelle la transition s'opère, quelle que soit la masse — et elle s'écrit aussi $\sqrt{3\pi G \rho_\Lambda}$. Comme la tension qui la fixe est héritée de la densité d'énergie du vide, et non d'une échelle d'accélération, sa coïncidence avec le seuil où les analyses situent le début de l'anomalie est une conséquence de la valeur cosmologique de ρ_Λ , non une calibration.

Le coefficient 0,323. Sous le seuil, la chaîne — interférence en amplitudes, tensions d'échelle, équation de forme — donne une pente supplémentaire dont le préfacteur est $(2) \cdot (2/3) = 4/3$: le facteur deux vient de l'interférence des deux amplitudes, les deux tiers de l'équation de forme (le tiers manquant en géométrie sphérique). Aucun paramètre n'y entre. Avec la fraction de présence $f = 1/16$:

$$g_{\text{obs}}/g_N = 1 + (4/3) \cdot \sqrt{f(1-f)}/\sqrt{x} = 1 + 0,323/\sqrt{x} \quad \text{où } x = g_N/(c^2 k)$$

Le coefficient 5/48. Il n'est pas un second nombre : c'est le carré du premier. En écrivant le terme supplémentaire en accélération, $(4/3) \cdot \sqrt{f(1-f)} \cdot g_N/\sqrt{x} = (4/3) \cdot \sqrt{f(1-f)} \cdot \sqrt{c^2 k \cdot g_N}$, on reconnaît la forme $\sqrt{a_0 \cdot g_N}$ avec

$$a_0 = [(4/3) \cdot \sqrt{f(1-f)}]^2 \cdot c^2 k = (16/9) \cdot (1/16) \cdot (15/16) \cdot c^2 k = 5/48 \cdot c^2 k = 1,203 \times 10^{-10} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

L'égalité $(4/3)^2 \cdot f(1-f) = 5/48$ est exacte, non approchée. Le seuil galactique est donc le carré du coefficient de pente : un seul ingrédient structurel, la fraction de présence, fixe les deux. Comparé à la valeur empirique $1,20(\pm 0,02) \times 10^{-10} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, l'accord est de 0,3 %, dans l'incertitude de mesure ; et la vitesse de plateau d'une galaxie de 10^{11} masses solaires s'en déduit à 200 km/s.

Trois accélérations, à ne pas confondre. Toutes trois descendent de la même courbure $k = \rho_{\Lambda}/\sigma$: l'accélération de front, $12\pi G\sigma/c^2$, qui vaut exactement c^2k ; l'accélération au rayon de croisement, sa moitié ; et le seuil galactique, $(5/48) \cdot c^2k$. Leurs rapports sont natifs — le front vaut deux fois le seuil de croisement et 9,6 fois le seuil galactique, ce 9,6 étant $48/5$, l'inverse du carré du préfacteur.

$$a_0 = (5/48) \cdot c^2 \cdot k = 1,203 \times 10^{-10} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad g_{\text{obs}}/g_{\text{N}} = 1 + 0,323/\sqrt{x}$$

Ces deux coefficients portent tout le contenu empirique du secteur galactique ; ils sont dérivés au document cadre (le recouvrement de configurations et le rayon de croisement $r_t = \sqrt{E/(6\pi\sigma)}$). Le rapport $a_0/(cH_0) = 0,180$ n'est pas un résultat séparé : il suit du même k .

S.5 — La constante de structure fine, facteur par facteur.

$$\alpha^{-1} = 2\pi(L - 2)(1 - d^2)$$

Le 2π de tête est dérivé : le 4π de la définition de Coulomb, fois le demi du coût statique. La borne diluée du trajet est fondée : le photon d'interaction est borné par le seuil de cohérence, $29,2 \mu\text{m}$, non par le plancher de densité plus dilué — une base physique, non un ajustement.

Le retranchement de deux échelons est dérivé, et voici comment. Une interaction électromagnétique a deux extrémités : un photon émis à l'une, absorbé à l'autre — c'est déjà pourquoi la constante entre au carré dans la définition. Chaque extrémité pèse le trajet par la force qu'elle exerce, en $1/r^2$.

Or l'axe du trajet est un axe d'échelle : une distance s'y compte en échelons, et passer de la mesure radiale à la mesure d'échelle transforme le poids $1/r^2$ en une décroissance d'un facteur e par échelon. Le centre de gravité d'un tel poids tombe exactement à un échelon du bout. Chaque vertex retranche donc un échelon, et il y en a deux.

Ce que ce choix commande, et il faut le chiffrer : avec le plancher de cascade, $L = 25,14$, la constante de structure fine passe à $144,3$ (+5,3 %) et la masse de l'électron à $0,293 \text{ MeV}$, soit -43 %. La ligne la plus forte du document dépend donc d'un choix que le document déclare non dérivé. C'est la dette dominante du cadre, et le lecteur doit pouvoir la peser.

Reste l'angle $d = 4,9^\circ$, la fluctuation de point zéro — et son statut a changé lui aussi. Le cadre conjecture que cette fluctuation appartient à la famille de la constante elle-même : la fluctuation serait la constante habillée de sa propre oscillation, $d^2 = \alpha/(1 - 2\alpha)$. Contre la valeur qu'exige le secteur leptonique, la constante nue échoue de 1,5 % et cette forme auto-correctée tombe à 0,06 %.

Sous cette conjecture, l'angle cesse d'être une entrée : le système à deux équations — la constante depuis la tour et les deux vertex, la fluctuation depuis la constante — se ferme sur lui-même et n'admet qu'une solution, sans aucun paramètre : $\alpha^{-1} = 137,434$ et $d = 4,92^\circ$, contre $137,036$ et $4,9^\circ$ observés. L'angle sort du calcul au lieu d'y entrer, à un demi pour cent de sa valeur mesurée.

Le contrôle : sans le retranchement des deux vertex, la même fermeture donnerait $150,0$, exclu à dix pour cent. Ce qu'il faut dire avec : la conjecture n'est pas démontrée, c'est un énoncé de travail. La ligne ne repose donc plus sur une valeur mesurée, mais sur un énoncé non prouvé — la dette est déplacée, non supprimée.

Et le résidu de +0,3 % ne bouge pas : le retranchement exact que la mesure exigerait est $2,063$, la dérivation donne $2,000$. Qu'une dérivation rende l'entier et non la troisième décimale est le comportement attendu ; l'écart n'est pas expliqué et ne doit pas être présenté comme un accord de précision.

D'où vient le résidu, et pourquoi il n'est pas un mystère. La fluctuation n'est pas une propriété de l'objet : c'est le milieu qui l'induit — l'énergie de point zéro du vide, dont la raideur dépend de la densité du lieu.

Un objet verrouillé à une densité fixe, un lepton à son seuil, échantillonne donc la fluctuation d'un seul point ; mais le photon d'interaction voyage, du vide vers le noyau, et subit la fluctuation moyennée tout le long de son trajet. Les deux ne portent pas la même variance. Or la valeur employée dans la formule, $d = 4,9^\circ$, est celle du lepton — locale.

Le résidu de +0,3 % est donc exactement ce qu'il devrait être : l'écart entre la fluctuation locale et la fluctuation moyennée. La valeur qu'il faudrait pour la ligne est plus grande d'un facteur 1,4, ce qui va dans le sens attendu — le photon traverse des régions plus raides que le seuil du lepton. Ce facteur n'est pas calculé : il faudrait moyenner la fluctuation le long du trajet, pondérée par le poids des deux vertex.

C'est une dette nommée, avec son mécanisme, et non un désaccord inexpliqué.

Une remarque qui vaut pour tout le document. Cette fluctuation agit au second ordre — ses effets linéaires s'annulent par la symétrie du cercle des générations, et seul le carré subsiste. Il est donc présent partout, mais invisible partout où la précision d'une ligne reste au-dessus du pour cent : il ne se manifeste que là où le cadre descend au-dessous. C'est pourquoi il n'apparaît que dans deux endroits de ce document, le rapport des sauts leptoniques et la constante de structure fine.

S.6 — L'angle de mélange : ce que le 3/8 suppose. La valeur 3/8 à la naissance est le rapport des traces $\text{Tr}(T_3^2)/\text{Tr}(Q^2)$ calculé sur le contenu en charges d'une génération complète — l'assignation des fermions en doublets et leurs hypercharges.

Le cadre en dérive la structure (les trois tiers, les doublets), mais ce contenu par génération est celui que la physique des particules a établi : la formule n'est pas « depuis la seule structure des charges » du cadre. Et la descente de 3/8 jusqu'à l'angle mesuré au Z part d'une échelle $\mu_{12} \approx 10^{13}$ GeV lue sur cet angle : la valeur au Z est une cohérence, non une prédiction.

S.7 — Les pentes de variation et le Higgs. Le contenu du cadre diffère de celui du Modèle Standard sur un point : son mode de Higgs est un scalaire réel singulet, non un doublet couplé aux champs de jauge. D'où $b_2 = 10/3$ et $b_1 = -4$, contre 19/6 et -41/10. Ce n'est pas une convention mais une différence physique, et elle doit être confrontée aux ajustements électrofaibles de précision, non à la seule valeur centrale au Z.

Le contenu standard donnerait -0,3 % sur l'angle contre -1,0 % pour le contenu natif : l'écart est exactement le poids du doublet de Higgs.

S.8 — Le couplage fort au Z. La valeur 0,120 est obtenue en fixant le plateau au lieu ℓ_c , c'est-à-dire en tirant l'échelle forte de la seconde ancre. L'écart de 2 % avec la valeur citée est de l'ordre de l'écart entre conventions de définition du couplage, mais cette phrase est une lecture, non une dérivation : à ce niveau, 2 % au Z est aussi le bruit de la méthode. À lire comme une cohérence d'ordre.

S.9 — Le photon comme état du doublet. Le porteur est ici quadratique dans le doublet. Ce que le document ne traite pas : la statistique d'un tel état, la nullité exacte de sa masse au-delà de l'ordre quadratique, et l'invariance de Lorentz du spectre complet. Trois points ouverts.

S.10 — Trous noirs : deux énoncés à ne pas confondre. Le cadre affirme qu'il n'y a pas d'horizon au sens d'une surface de décalage spectral infini — g_{00} ne s'annule pas dans le champ — et que la tension sature au lieu de diverger. La masse minimale, $M_{\min} = a_{\min} \cdot c^2 / 2G$, n'est pas définie par un horizon : c'est la masse dont l'échelle gravitationnelle atteint le plancher $a_{\min} = 16,9 \mu\text{m}$.

Que la formule ait la forme du rayon de Schwarzschild n'est pas fortuit — G est dérivé du même jeu de constantes — mais elle ne réintroduit pas de surface de piégeage.

S.11 — L'hélium primordial : ce qui est revendiqué et ce qui ne l'est pas. La présence $1/8$ y est employée comme fréquence de réalisation — la part des nucléons nés neutrons. La même valeur apparaît ailleurs comme coût de resommation dans le calcul des rayons de charge ; l'identité des deux rôles n'est pas démontrée, et rien ici ne s'appuie dessus : le juge de l'hélium est unique, Y_p .

Le cadre ne dit rien de l'abondance du deutérium, qui dépend du nombre d'enroulements — un contenu mesuré, non dérivé — ni du lithium.

S.12 — La violation de CP. Le mécanisme de chiralité fixe une main pour les leptons de matière et la main opposée sur l'autre face, et conclut que C et P sont retournées chacune tandis que CP serait préservée. Cet énoncé porte sur un objet unique — une vis, un lepton, aucun mélange —, et à ce niveau aucune phase n'existe. La violation de CP vit ailleurs : dans le mélange des trois résidences.

Le comptage est immédiat : un mélange entre n états porte $(n - 1)(n - 2)/2$ phases physiques irréductibles. Ce que ce comptage suppose, comme celui du $3/8$ en S.6 : une matrice de mélange unitaire entre trois états et des masses non dégénérées — zéro pour une ou deux, exactement une pour trois. Le cadre ayant trois champs, donc trois résidences et trois générations, il prédit qu'il existe une phase de violation de CP et qu'elle est unique : c'est la structure mesurée depuis 1964 (kaons) et 2001 (mésons B).

Les mathématiques du mélange donnent une chose de plus : pour trois états, l'invariant de mélange est borné par $1/(6\sqrt{3}) = 0,0962$. La valeur mesurée, $3,08 \times 10^{-5}$, en vaut trois dix-millièmes : la violation observée est très loin de son maximum, et cette petitesse ne tient pas à la phase — d'ordre un — mais aux angles de mélange, c'est-à-dire au recouvrement des trois résidences.

Ce recouvrement est un contenu, non une structure : comme le nombre d'enroulements, il se mesure et ne se dérive pas. Le cadre rend donc de la violation de CP ce qu'une structure peut en rendre — son existence, son unicité, sa borne — et laisse son amplitude au contenu mesuré.

S.13 — Statuts, mis au clair. Le rayon de fermeture $R_\Sigma = 3\sigma/p_\Lambda$ n'est pas dérivé : il est calculé depuis deux ancres et n'a pas de contrepartie observationnelle nommée — le cadre y gagne une relation entre trois grandeurs, non une prédiction.

La masse de l'électron apparaît à deux endroits des tables : comme constante déclarée du secteur leptonique dans la lecture historique, et comme conséquence des ancres (0,509 MeV, $-0,4\%$) dans la lecture actuelle ; c'est la seconde qui vaut.

Enfin, l'économie du cadre se lit dans la table 1.3 : non pas deux nombres contre dix-neuf, mais trois ancres et une poignée d'entrées nommées, chacune tracée jusqu'au résultat qu'elle porte.

S.14 — Ce que la cellule harmonisée donne, et ce qu'elle coûte.

Avec $a_{\text{nuc}} = 1,0635$ fm : $L = 24,036$; $\alpha^{-1} = 137,44$ (mesuré $137,036 : +0,3\%$) ; la masse de l'électron 0,509 MeV (mesuré $0,511 : -0,4\%$), obtenue sans qu'aucune masse mesurée n'entre dans la chaîne ; l'énergie du nucléon 939 MeV (mesuré $939 : +2,7\%$) ; la densité nucléaire $154,3$ MeV/fm³ (mesuré $150,2 : +2,7\%$) ; le rayon de l'hélium-4 $1,688$ fm (mesuré $1,678 : +0,6\%$).

Les juges externes tombent tous du même côté et du même ordre — un seul écart, $+2,7\%$, là où la cellule entre. Ce qui se dégrade, et qu'il faut assumer : l'énergie du nucléon passe de $+2,1\%$ à $+2,7\%$, et le calcul des rayons de charge, qui emploie l'énergie mesurée et amplifie toute erreur d'entrée par 8,9, s'en éloigne d'autant.

Le plan médian, une précision qui compte. En chaîne native, le médian vaut $M_{\text{cadre}} e^{(-12\pi)} = 84,3$ GeV et ne dépend pas de la tour : les deux exponentielles, celle qui descend jusqu'à l'électron et celle qui remonte,

s'annulent. Le juge est $\sqrt{M_W \cdot M_Z} = 85,61$ GeV, soit un écart de $-1,5$ %. Et la route qui emploie la masse mesurée de l'électron donne $84,7$ GeV : les deux coïncident à $0,4$ %.

La valeur de $86,5$ GeV citée ailleurs dans la littérature du cadre était obtenue avec la masse mesurée de l'électron ; en chaîne native, l'écart est celui-ci. Enfin, la cellule hérite du statut du résultat qui la fixe — l'énergie du nucléon comme trois résidences au lieu, candidat fort : si ce résultat tombait, la cellule tomberait avec lui.