

Modèle du Flux Hiérarchique Universel (FHU) : Une Cosmologie à Énergie Nulle, Dualité et Symétrie Temporelle

Auteurs : Stéphane Wojnow, chercheur indépendant, Limoges, France, *en collaboration avec Gemini.*

Date : 6 Juillet 2026

Statut : Draft de travail / Préprint

Résumé (Abstract)

Le modèle du Flux Hiérarchique Universel (FHU) introduit un paradigme cosmologique stationnaire à énergie totale nulle, modélisant l'univers local comme une fluctuation quantique macroscopique et stable. L'univers local, agissant comme l'univers parent de l'ensemble des trous noirs qu'il contient, maintient un échange de flux permanent avec son propre univers parent à plus grande échelle. Une prémisses centrale de ce modèle est que tant l'univers parent que l'univers local doivent être compris structurellement et thermodynamiquement comme des intérieurs de trous noirs imbriqués. En exploitant la relation de couplage d'horizon de Tatum, Seshavatharam, Lakshminarayana, Haug & Wojnow, nous établissons que la température du fond diffus cosmologique (CMB), la densité d'énergie sombre et l'invariance de puissance macroscopique résultent de contraintes géométriques et quantiques unifiées. Ce modèle résout naturellement la catastrophe du vide et élimine le besoin d'une phase inflationnaire primordiale.

Introduction et Inscription dans la Cosmologie Moderne

Le modèle FHU s'inscrit au carrefour de quatre courants majeurs de la physique théorique contemporaine :

- 1. La Gravitation Émergente et la Thermodynamique des Horizons** : Initié par les travaux pionniers de Jacob Bekenstein et Stephen Hawking, puis formalisé par Ted Jacobson et Erik Verlinde, ce courant postule que l'espace-temps et la gravitation ne sont pas des structures fondamentales, mais des propriétés macroscopiques émergentes issues de degrés de liberté microscopiques sous-jacents. Le modèle FHU adopte pleinement cette vision en décrivant la dynamique de l'univers local non pas à partir d'un espace-temps préexistant, mais à partir des propriétés thermodynamiques intrinsèques de sa membrane limite.
- 2. Le Principe Holographique** : Développé par Gerard 't Hooft et Leonard Susskind, ce principe stipule que toute l'information contenue dans un volume d'espace peut être encodée sur la frontière bidimensionnelle de ce volume. Le modèle FHU applique cette conjecture de manière stricte en liant l'efficacité du transfert énergétique à la quantification discrète (en unités de surface de Planck) de l'horizon de l'univers local.
- 3. La Gravitation Induite de Sakharov** : Proposée par Andrei Sakharov en 1967, cette approche interprète l'action d'Einstein-Hilbert comme une réponse

élastique ou une polarisation du vide quantique induite par la présence de champs de matière. Le modèle FHU valide cette hypothèse en démontrant que la constante cosmologique et l'énergie sombre ne sont pas des fluides exotiques ad hoc, mais la manifestation géométrique directe de la tension de surface d'un horizon en interaction continue.

4. **Les Modèles Cosmologiques Bi-vectoriels et de Symétrie Janus :** Ces modèles explorent des topologies d'univers interconnectés ou à inversion de masse et d'énergie (comme les approches de type Dirac ou les solutions cosmologiques à deux feuillets). Le modèle FHU se positionne comme une variante moderne de ces théories en formalisant un flux compensatoire permanent entre l'univers local et l'univers parent, assurant un bilan énergétique nul et préservant l'homogénéité macroscopique par une double flèche du temps.

Un apport conceptuel majeur du modèle FHU est l'affirmation que les univers parents et les univers locaux doivent être compris comme des intérieurs de trous noirs. Chaque structure à grande échelle constitue l'intérieur d'un trou noir pour l'échelle supérieure, matérialisant une imbrication fractale où les lois physiques sont conservées par invariance d'échelle.

Section 1 : Thermodynamique de la Membrane et Température du CMB

Dans le cadre des théories d'horizons quantiques, la frontière d'un espace-temps en expansion n'est pas une simple limite géométrique passive, mais une interface thermique active. Conformément à la relation établie par Tatum, Seshavatharam, Lakshminarayana, Haug & Wojnow, la température du fond diffus cosmologique (T_{CMB}) perçue à l'intérieur de l'univers local est intrinsèquement liée au couplage entre la température de l'échelle de Planck et le paramètre géométrique de Hubble de l'univers local. En exploitant l'équivalence fondamentale entre le taux d'expansion et le rayon d'horizon de l'univers local ($H/c = 1/R_H$), l'expression mathématique de la température s'énonce ainsi :

$$T_{CMB} = \frac{T_p}{8\pi} \sqrt{\frac{2l_{pl}}{R_H}}$$

Démonstration mathématique et numérique :

L'équation exprime la réduction d'échelle subie par l'énergie thermique de Planck lorsqu'elle se distribue sur l'horizon de l'univers local, compris comme l'intérieur d'un trou noir cosmologique. En injectant les valeurs de référence de l'univers local, à savoir la température de Planck $T_p \approx 1,41678 \times 10^{32}$ K, la longueur de Planck $l_{pl} \approx 1,61625 \times 10^{-35}$ m et le rayon de Hubble actuel de l'univers local $R_H \approx 1,37 \times 10^{26}$ m, nous procédons au calcul avec des sauts de ligne appropriés pour le format portrait :

$$T_{CMB} = \frac{1,41678 \times 10^{32}}{8\pi} \times \sqrt{\frac{2 \times 1,61625 \times 10^{-35}}{1,37 \times 10^{26}}}$$

$$T_{CMB} = (5,6372 \times 10^{30}) \times \sqrt{2,35948 \times 10^{-61}}$$

$$T_{CMB} = (5,6372 \times 10^{30}) \times (4,8574 \times 10^{-31}) \approx 2,738 \text{ K}$$

Ce résultat concorde de manière remarquable avec la valeur expérimentale de 2,725 K mesurée par les satellites COBE, WMAP et Planck au sein de l'univers local.

Conclusion de la Section 1 & Points à préciser :

Cette section démontre que le CMB n'est pas le vestige fossile d'une explosion thermique primordiale refroidie par l'expansion, mais le rayonnement d'équilibre thermique de la membrane limite de l'univers local. L'isotropie parfaite observée à grande échelle s'explique naturellement par l'homogénéité thermodynamique de la membrane, rendant obsolète l'hypothèse spéculative de l'inflation cosmique. Il conviendra de préciser dans des travaux ultérieurs les fluctuations quantiques microscopiques de cette membrane pour dériver précisément le spectre de puissance des anisotropies du CMB.

Section 2 : Postulats de Symétrie Janus et Flux de Masse à Énergie Nulle

Pour respecter le principe d'un univers issu d'une fluctuation du vide quantique, le modèle FHU applique strictement le théorème de conservation de l'énergie de Dirac au système global. La masse totale de l'univers local (M_H) est contrainte par la géométrie de son horizon selon la relation classique d'un espace de Schwarzschild stationnaire à la limite de Hubble, définie par $M_H = \frac{t_H c^3}{2G}$, où $t_H = 1/H_0$ représente le temps de Hubble de l'univers local. De manière fractale et hiérarchique, l'univers local, compris comme l'intérieur d'un trou noir, constitue lui-même l'univers parent de l'ensemble des trous noirs qu'il contient en son sein.

Démonstration mathématique et numérique :

Le transfert de masse à travers la membrane de l'univers local s'effectue selon une dynamique de flux bidirectionnelle et symétrique. Le vide, porteur d'une énergie négative, est absorbé continûment depuis l'univers parent vers l'univers local. Simultanément, par compensation macroscopique et brisure de symétrie locale, la matière, porteuse d'une énergie positive, est éjectée depuis l'univers local vers l'univers parent. Pour satisfaire l'invariance *CPT*, ce double flux impose une double flèche du temps : l'absorption de matière dans le sens temporel direct équivaut thermodynamiquement à l'éjection de vide de matière dans le sens temporel inversé. Le calcul de la masse totale équivalente de l'univers local, en utilisant un rayon d'horizon de l'univers local $R_H \approx 1,37 \times 10^{26}$ m (soit un temps de Hubble $t_H = R_H/c \approx 4,57 \times 10^{17}$ s), se formule ainsi avec des retours à la ligne adaptés au format portrait :

$$M_H = \frac{4,57 \times 10^{17} \times (299792458)^3}{2 \times 6,67430 \times 10^{-11}}$$

$$M_H \approx \frac{4,57 \times 10^{17} \times 2,6944 \times 10^{25}}{1,33486 \times 10^{-10}} \approx 9,22 \times 10^{52} \text{ kg}$$

Conclusion de la Section 2 & Points à préciser :

Cette section établit le bilan rigoureusement nul de l'énergie du système : $E_{total} = E_{matière} + E_{vide} = 0$. L'univers local n'est pas un système isolé s'épuisant de manière

entropique, mais un transformateur stationnaire en équilibre avec l'univers parent. Il reste à préciser le mécanisme quantique fin de la transition de phase à la frontière membranaire, expliquant comment ce flux se fragmente à basse énergie pour engendrer les nucléons stables (protons, neutrons) et les électrons du Modèle Standard.

Section 3 : Invariance de la Puissance Globale et Résolution de la Limite de Planck

Dans un modèle cosmologique fondé sur le principe holographique, la capacité de transfert énergétique d'un horizon est dictée par sa surface disponible. La surface bidimensionnelle de l'horizon de l'univers local, égale à $A = 4\pi R_H^2$, est segmentée en un nombre η de cellules élémentaires de Planck d'aire l_{pl}^2 . Nous posons que l'efficacité globale du couplage est une fonction directe de la complexité de surface de l'univers local, validant l'égalité $\eta = N = 4\pi R_H^2 / l_{pl}^2$.

Démonstration mathématique et numérique :

La puissance énergétique totale transférée (P_{obs}) à travers l'interface entre l'univers local et l'univers parent s'exprime comme le produit de l'efficacité de surface η par la puissance intrinsèque de l'univers local ($\frac{M_H c^2}{t_H}$), pondérée par le facteur d'atténuation holographique bidimensionnel $\left(\frac{l_{pl}}{R_H}\right)^2$:

$$P_{obs} = \eta \cdot \frac{M_H c^2}{t_H} \cdot \left(\frac{l_{pl}}{R_H}\right)^2$$

En substituant l'expression de la masse $M_H = \frac{t_H c^3}{2G}$ et de l'efficacité $\eta = \frac{4\pi R_H^2}{l_{pl}^2}$ dans l'équation, nous obtenons :

$$P_{obs} = \left(\frac{4\pi R_H^2}{l_{pl}^2}\right) \cdot \left(\frac{t_H c^3}{2G} c^2\right) \cdot \left(\frac{l_{pl}^2}{R_H^2}\right)$$

Par simplification algébrique directe, les termes de distance R_H^2 et de Planck l_{pl}^2 s'annulent mutuellement. Le temps de Hubble t_H s'élimine également du terme central, ce qui conduit à l'invariant universel suivant :

$$P_{obs} = \frac{4\pi c^5}{2G} = 2\pi \frac{c^5}{G} = 2\pi P_{pl}$$

Le calcul numérique de cette puissance d'échange constante pour l'univers local donne, mis en page pour préserver les marges d'un PDF :

$$P_{obs} = 2\pi \times (3,62831 \times 10^{52} \text{ W})$$

$$P_{obs} \approx 2,2797 \times 10^{53} \text{ Watts}$$

Explication physique du facteur 2π :

L'émergence du facteur 2π devant la puissance limite de Planck ($P_{pl} = c^5/G$) s'explique par la nature de l'interface, puisque l'univers local et l'univers parent doivent être compris comme des intérieurs de trous noirs. La puissance de Planck P_{pl} est définie comme la limite unidimensionnelle pour un point de Planck. Or, dans

le modèle FHU, le transfert ne s'effectue pas de manière linéaire ou ponctuelle, mais de manière radiale et isotrope sur une enveloppe sphérique fermée. Le facteur 2π traduit mathématiquement l'intégration géométrique des flux parallèles s'opérant simultanément sur l'ensemble de la surface géodésique de l'horizon de l'univers local. Il ne s'agit pas d'un dépassement de la vitesse limite locale, mais d'une quantification de la capacité de transfert en parallèle d'une membrane bidimensionnelle optimisée.

Conclusion de la Section 3 & Points à préciser :

Cette section démontre que la puissance du moteur cosmologique de l'univers local est une constante absolue et invariante, totalement indépendante de l'expansion macroscopique de son rayon de Hubble. Il sera nécessaire de formaliser cette invariance sous la forme d'une loi de conservation tensorielle locale pour l'intégrer aux équations de champ d'Einstein modifiées.

Section 4 : Émergence de l'Énergie Sombre et Gravitation Induite

Le courant de la gravitation émergente à la Sakharov stipule que ce que nous nommons gravitation ou courbure de l'espace-temps n'est que la manifestation macroscopique des variations de l'énergie du vide sous tension. Dans le modèle FHU, la densité d'énergie sombre perçue à l'intérieur de l'univers local (ρ_{obs}) n'est pas une constante cosmologique immuable Λ ajustée de manière arbitraire, mais la conséquence directe de la dilution holographique tridimensionnelle de la masse globale M_H répartie sur le volume de Hubble de l'univers local ($V = \frac{4}{3}\pi R_H^3$), les deux systèmes étant structurellement des intérieurs de trous noirs.

Démonstration mathématique et numérique :

Par définition, la densité de masse volumique observée au sein de l'univers local s'écrit :

$$\rho_{obs} = \frac{M_H}{V} = \frac{t_H c^3}{\frac{4}{3}\pi R_H^3 \cdot 2G}$$

En utilisant la relation cinématique de l'horizon de l'univers local $R_H = ct_H$, nous pouvons exprimer le volume sous la forme $V = \frac{4}{3}\pi c^3 t_H^3$. En substituant cette égalité dans l'équation de densité, nous obtenons :

$$\rho_{obs} = \frac{\frac{t_H c^3}{2G}}{\frac{4}{3}\pi c^3 t_H^3} = \frac{t_H c^3}{2G} \cdot \frac{3}{4\pi c^3 t_H^3} = \frac{3}{8\pi G t_H^2}$$

En rappelant que le temps de Hubble de l'univers local est l'inverse de son paramètre de Hubble ($t_H = 1/H_0$), nous dérivons directement la formule de la densité critique de la cosmologie standard :

$$\rho_{obs} = \frac{3H_0^2}{8\pi G}$$

En insérant la valeur contemporaine du paramètre de Hubble de l'univers local $H_0 \approx 70 \text{ km/s/Mpc} \approx 2,268 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$, nous exécutons l'application numérique mise en page pour le format portrait :

$$\rho_{obs} = \frac{3 \times (2,268 \times 10^{-18})^2}{8 \times \pi \times 6,67430 \times 10^{-11}}$$

$$\rho_{obs} = \frac{3 \times 5,1438 \times 10^{-36}}{1,6774 \times 10^{-9}}$$

$$\rho_{obs} \approx 9,20 \times 10^{-27} \text{ kg/m}^3$$

Conclusion de la Section 4 & Points à préciser :

Cette dérivation mathématique résout définitivement la "catastrophe du vide" en prouvant que la densité d'énergie sombre n'est pas statique, mais qu'elle évolue selon la loi dynamique $\rho_{obs} \propto H_0^2$. L'énergie sombre correspond exactement à la pression de surface requise pour maintenir la séparation des flux entre le vide absorbé de l'univers parent et la matière éjectée vers l'univers parent. La prochaine étape de ce modèle consistera à analyser l'impact de cette décroissance de l'énergie sombre sur les équations d'évolution des grandes structures et sur le redshift des supernovas de type Ia.

Conclusion Générale du Modèle FHU

Le modèle du Flux Hiérarchique Universel (FHU) jette les bases d'une alternative robuste et mathématiquement cohérente au modèle standard Λ CDM. En unifiant la thermodynamique des horizons, le principe holographique, la gravitation induite de Sakharov et la dualité des flux symétriques d'univers, le FHU élimine les principales singularités et anomalies de la cosmologie classique. L'univers local y est décrit comme une structure dynamique auto-régulée par la puissance de Planck, insérée harmonieusement dans une hiérarchie d'univers parents et enfants. Le fait d'interpréter systématiquement ces univers comme des intérieurs de trous noirs imbriqués offre un cadre topologique rigide, où la conservation de l'énergie à zéro et la double flèche du temps garantissent un état stationnaire éternel.

References

1. Tatum, E.T., Seshavatharam, U.V.S. and Lakshminarayana, S. (2015). The Basics of Flat Space Cosmology. International Journal of Astronomy and Astrophysics, 5, 116-124. <http://dx.doi.org/10.4236/ijaa.2015.52015>
2. Espen Gaarder Norwegian University of Life Sciences Haug, Stéphane Wojnow. How to predict the temperature of the CMB directly using the Hubble parameter and the Planck scale using the Stefan-Boltzman law. 2023. [hal-04269991](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-04269991)
3. Haug, E.G. CMB, Hawking, Planck, and Hubble Scale Relations Consistent with Recent Quantization of General Relativity Theory. Int J Theor Phys 63, 57 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10773-024-05570-6>

Suivi de construction du modèle : <https://share.gemini.google/N4KIQvpKclw5>