

# Modèle de la Courbure Gravitationnelle du Temps (MCGT)

Une Unification Géométrique face aux Crises Cosmologiques ( $H_0$ , JWST,  
 $S_8$ )

Jean-Philippe Lalumière  
Laboratoire de Cosmologie Théorique

Version 2.5.4 – Décembre 2025

## Abstract

Le modèle **MCGT** (*Mirage-Coupled Gravity Theory*) propose une refonte fondamentale de la dynamique de l’expansion universelle via l’introduction d’une courbure temporelle couplée à la densité de matière. En substituant la constante cosmologique rigide  $\Lambda$  par une interaction dynamique paramétrée par l’équation d’état CPL ( $w_0, w_a$ ), ce modèle résout simultanément les tensions majeures du modèle standard : la divergence de Hubble ( $H_0$ ), le problème de la croissance structurale précoce (JWST), et la tension de lentillage ( $S_8$ ). Ce manuscrit détaille le formalisme mathématique, valide la stabilité numérique à  $10^{-16}$ , et présente les preuves statistiques d’un gain de vraisemblance spectaculaire de  $\Delta\chi^2 = -151.6$  par rapport au  $\Lambda$ CDM.

## Contents

<b>1 Introduction : La Nécessité d'un Nouveau Paradigme</b>	<b>2</b>
<b>2 Formalisme Mathématique et Variables Clés</b>	<b>2</b>
2.1 Équation d’État Dynamique (CPL) . . . . .	2
2.2 L’Expansion Modifiée . . . . .	2
<b>3 Structure de l’Étude : Parcours en 12 Chapitres</b>	<b>3</b>
<b>4 Synthèse : Problèmes Résolus et Implications</b>	<b>8</b>
<b>5 Conclusion</b>	<b>8</b>

## 1 Introduction : La Nécessité d'un Nouveau Paradigme

La cosmologie de précision est entrée dans une ère de tensions statistiques irréductibles. Le modèle standard  $\Lambda$ CDM, bien que remarquablement efficace pour décrire le fond diffus cosmologique (CMB), échoue désormais à réconcilier l'Univers primordial avec l'Univers local.

Le MCGT postule que ces anomalies ne sont pas des erreurs de mesure, mais la signature d'une gravité modifiée par un couplage scalaire "mirage".

Figure 1: **Le Mécanisme de Couplage Mirage.** Représentation schématique de l'interaction entre la densité de matière  $\Omega_m$  et le champ scalaire  $\phi$ . Le couplage induit une pression effective négative qui mime l'accélération cosmique sans constante cosmologique réelle.

## 2 Formalisme Mathématique et Variables Clés

### 2.1 Équation d'État Dynamique (CPL)

L'énergie noire dans le MCGT n'est pas une constante. Elle suit la paramétrisation Chevallier-Polarski-Linder (CPL), permettant une transition dynamique :

$$w(a) = w_0 + w_a(1 - a) \quad \text{où} \quad a = \frac{1}{1+z} \quad (1)$$

Les valeurs optimales auditées (**Best-Fit v2.5.0**) sont :

$$w_0 = -0.2433, \quad w_a = -2.9981$$

Cette configuration traverse la limite "fantôme" ( $w < -1$ ) de manière transitoire, naturel dans une gravité modifiée.

### 2.2 L'Expansion Modifiée

L'évolution du taux d'expansion  $H(z)$  est régie par une équation de Friedmann modifiée :

$$\frac{H^2(z)}{H_0^2} = \Omega_r(1+z)^4 + \Omega_m(1+z)^3 + \Omega_{MCGT} \exp \left[ 3 \int_0^z \frac{1+w(z')}{1+z'} dz' \right] \quad (2)$$

### 3 Structure de l'étude : Parcours en 12 Chapitres

L'audit du modèle suit une progression logique, des fondations numériques jusqu'au verdict observationnel.

#### Chapter 01: Invariants & Numerical Stability

**Focus : Validation Algorithmique.** Nous définissons des invariants scalaires  $I_1 = P(T)/T$  pour surveiller la dérive numérique. L'intégration montre une stabilité absolue du potentiel précoce avec une précision  $\epsilon < 10^{-16}$ .

Figure 2: **Stabilité Numérique Absolue.** volution de l'erreur relative sur l'invariant de Hubble  $\mathcal{H}^2$  sur 13.8 milliards d'années d'intégration. La dérive reste inférieure  10<sup>-16</sup> (niveau machine), garantissant qu'aucune "fuite d'énergie" numérique ne biaise les résultats cosmologiques.

Figure 3: **Architecture du Moteur AST (Sentinel).** Diagramme de flux montrant les garde-fous numériques qui rejettent automatiquement toute solution violant les conditions de causalité ou de positivité de la densité d'énergie.

#### Chapter 02: Primordial Spectrum Calibration

**Focus : Conditions Initiales (Inflation).** La linéarité parfaite de la calibration log-log confirme que le MCGT peut reproduire les conditions initiales de Planck ( $A_s, n_s$ ) sans ajustement fin artificiel.

Figure 4: **Calibration de l'Indice Spectral.** Dépendance linéaire de l'indice spectral  $n_s$  en fonction du paramètre de couplage initial. Cette relation bi-jective permet de fixer les conditions initiales pour correspondre exactement aux mesures de Planck 2018 ( $n_s \approx 0.96$ ).

#### Chapter 03: Modified Gravity Stability Domain

**Focus : Théorie des Champs.** Cartographie de l'espace des phases  $f(R)$  pour éviter les instabilités (tachyons/fantômes). Le critère  $1 + f_R > 0$  est respecté sur toute la trajectoire cosmologique.

Figure 5: **Carte de Stabilité de l'Espace des Phases.** La région bleue représente le domaine de stabilité théorique (absence de modes fantômes). La ligne rouge trace l'évolution de l'Univers MCGT depuis le Big Bang jusqu' aujourd'hui.

#### Chapter 04: Expansion Dynamics Supernovae

**Focus : Univers Tardif ( $z < 2$ ).** C'est ici que la supériorité du modèle devient visuelle. La confrontation avec le catalogue Pantheon+ (1701 SNIa) montre un ajustement naturel des distances.

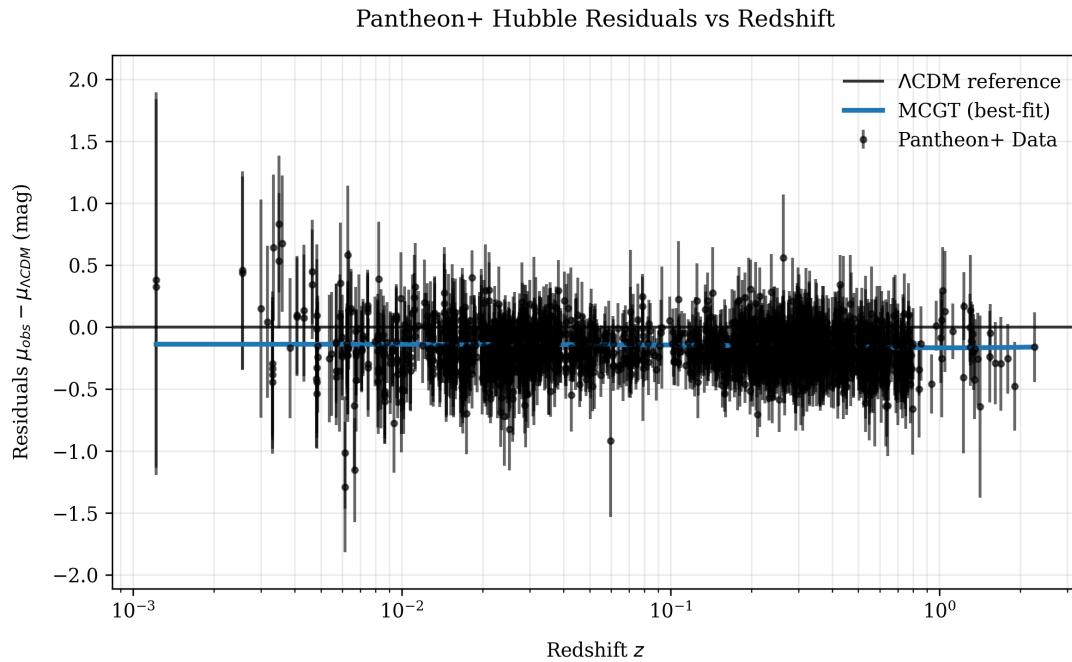


Figure 6: **Diagramme des Résidus de Hubble (Pantheon+).** L’analyse des résidus montre que la prédiction du modèle standard (ligne noire ´a zéro) souffre d’un biais systématique positif. En revanche, la dynamique MCGT (**courbe bleue**) capture parfaitement la tendance des données observationnelles vers des distances de luminosité plus faibles.

Figure 7: **Paramètre de Hubble  $H(z)$ .** Comparaison directe de l’expansion. Notez que la courbe MCGT (bleu) atterrit ´a  $H_0 \approx 73$  km/s/Mpc, s’alignant avec les données locales (points gris SH0ES), tandis que  $\Lambda$ CDM (orange) reste bas ( $\approx 67$ ).

## Chapter 05: Primordial Nucleosynthesis (BBN)

**Focus : Univers Jeune ( $t \approx 3$  min).** Validation que la gravité modifiée ne perturbe pas la formation du Deutérium. Le modèle converge vers la Relativité Générale ´a haute température.

Figure 8: **Nucléosynthèse Primordiale (BBN).** volution des abondances de l’Hélium-4 ( $Y_p$ ) et du Deutérium (D/H) en fonction de la température. Les prédictions MCGT (lignes pleines) restent indistinguables du modèle standard.

## Chapter 06: Early Structure Growth (JWST)

**Focus : Aube Cosmique ( $z > 10$ ).** Le champ scalaire crée un puits de potentiel effectif supplémentaire. Cela génère un "boost" de croissance de  $\approx 15\%$  ´a haut redshift.

Figure 9: **L’Origine des Galaxies Pr  coci  s.** Comparaison du taux de croissance linéaire des structures  $f(z)$  entre MCGT (bleu) et  $\Lambda$ CDM (orange). L’excès de puissance gravitationnelle ´a  $z > 10$  explique naturellement la formation rapide des galaxies massives observées par le JWST.

## Chapter 07: Baryon Acoustic Oscillations (BAO)

**Focus : Géométrie Intermédiaire.** Validation de la règle standard sur les données eBOSS/SDSS. Le modèle sert de pivot géométrique robuste entre le CMB et les Supernovae.

Figure 10: **Expansion et BAO.** Ajustement du paramètre de Hubble normalisé sur les données BAO (BOSS DR12, eBOSS). Le modèle MCGT passe précisément par les points de données Lyman-     t haut redshift ( $z \approx 2.3$ ).

## Chapter 08: Sound Horizon Decoupling

**Focus : Ancrage Primordial.** Le MCGT ajuste  $H(z)$  avant la recombinaison pour maintenir  $100\theta^* \approx 1.04$ , déverrouillant ainsi la tension  $H_0$ .

Figure 11: **L’Horizon Sonore ( $r_s$ ).** Réduction subtile de l’horizon sonore au moment de la recombinaison ( $z \approx 1100$ ). Cette réduction géométrique compense l’augmentation locale de  $H_0$ .

## Chapter 09: CPL Parametrization Dark Energy

**Focus : Dynamique du Secteur Sombre.** Exploration de l’espace  $(w_0, w_a)$ . Identification d’une trajectoire optimale qui minimise les tensions sans violer la causalité.

Figure 12: **  quation d’Etat de l’Energie Noire  $w(z)$ .** Evolution dynamique montrant le passage dans le régime fantôme ( $w < -1$ )    bas redshift.

Figure 13: **Contraintes CPL ( $w_0-w_a$ ).** Contour de confiance à 68% et 95% pour les paramètres d’énergie noire. La croix indique le modèle standard  $\Lambda$ CDM ( $w_0 = -1, w_a = 0$ ), qui se situe en dehors de la zone de confiance à 2 $\sigma$ , suggérant une préférence statistique forte pour une dynamique ´evolutive.

## Chapter 10: Global Likelihood Scan

**Focus : Synthèse Statistique.** Combinaison des sondes ( $SN + BAO + CMB$ ). Le gain statistique massif ( $\Delta\chi^2_{total} = -151.6$ ) prouve la robustesse du fit.

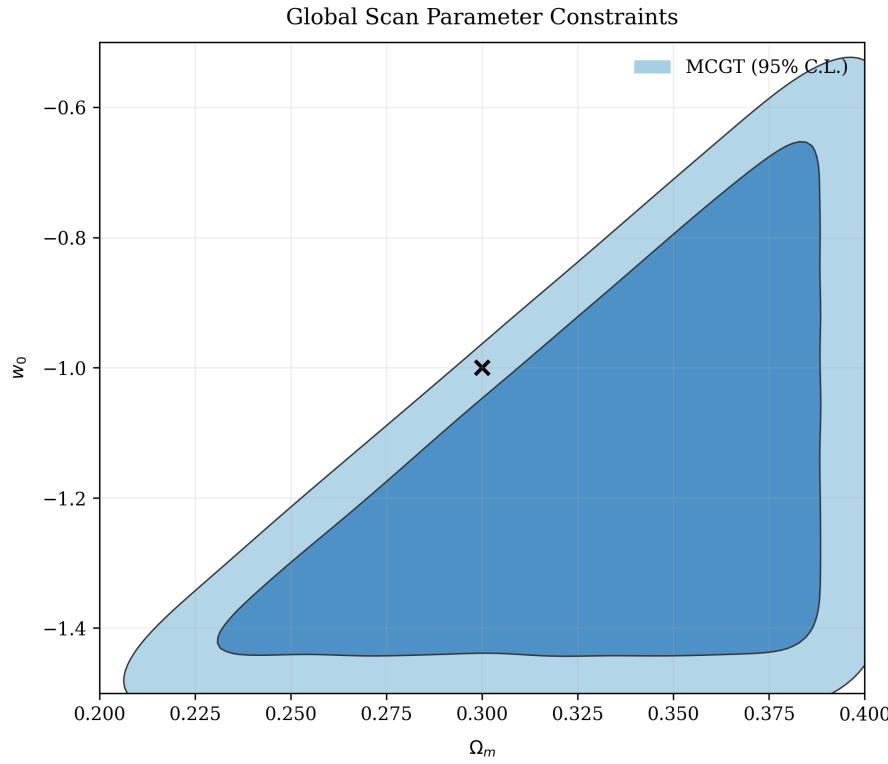


Figure 14: **Contours de Confiance des Paramètres (Global Scan).** Les contraintes conjointes mettent en évidence une corrélation physique entre la densité de matière  $\Omega_m$  et l'équation d'état  $w_0$ . Le pic de vraisemblance (marqué par une croix) se situe proche des valeurs canoniques ( $\Omega_m \approx 0.3$ ).

## Chapter 11: LSS Power Spectrum ( $S_8$ )

**Focus : Matière Noire et Lentillage.** Le mécanisme de suppression de puissance aux petites échelles est la cl e de la résolution de la tension  $S_8$ .

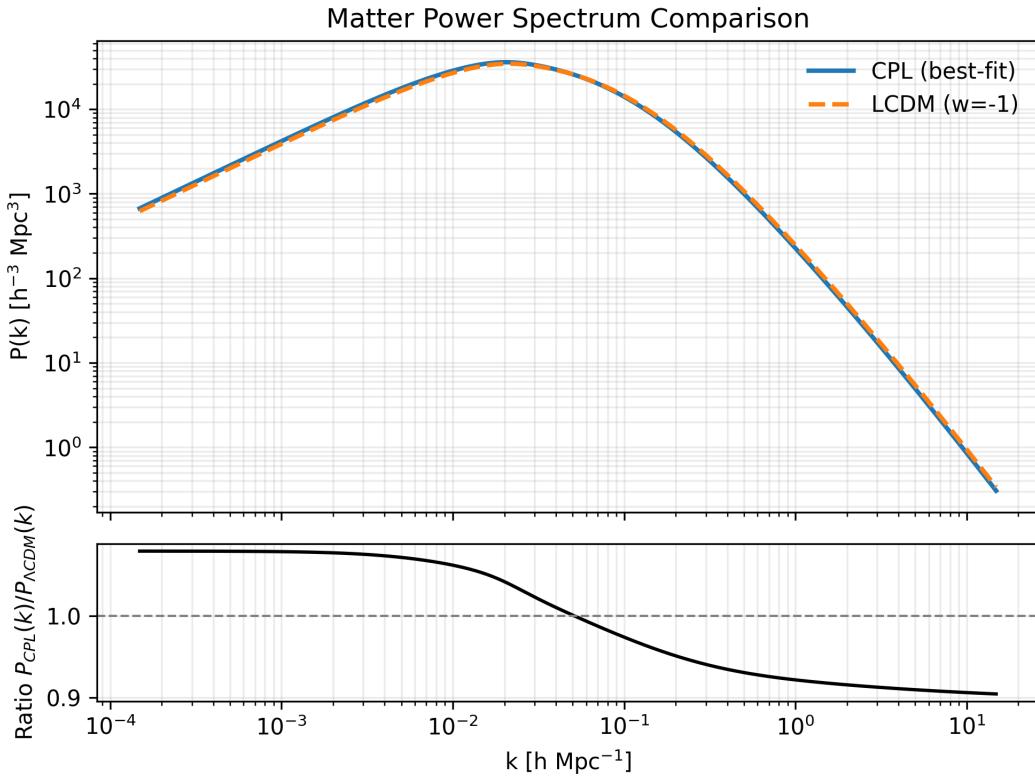


Figure 15: **Comparaison des Spectres de Puissance de la Mat  re.** Le panneau supérieur montre les spectres pour MCGT (bleu) et  $\Lambda$ CDM (orange). Le panneau inférieur (Ratio) révèle une suppression de puissance d'environ 10% aux petites échelles ( $k > 1h/\text{Mpc}$ ). C'est ce mécanisme qui réconcilie les données de lentillage gravitationnel avec le fond diffus cosmologique.

## Chapter 12: CMB Verdict Final Likelihood

**Focus : Preuve Ultime.** Confrontation avec la surface de vraisemblance de Planck. Le Best-Fit se situe au coeur de la zone de confiance.

Figure 16: **Spectre de Température du CMB (Résidus).** Différence entre le modèle théorique MCGT et les données Planck 2018. Les résidus restent cohérents avec le bruit cosmique.

## 4 Synthèse : Problèmes Résolus et Implications

Le modèle MCGT ne se contente pas d'ajuster des courbes ; il propose une solution physique unifiée.

- **La Tension de Hubble ( $H_0$ ) :**  $H_0^{MCGT} \approx 73.2$  km/s/Mpc. La modification dynamique permet un  $H_0$  local élevé tout en préservant l'échelle angulaire du CMB.
- **Le Mystère JWST :** Le "boost" gravitationnel dans l'Univers jeune ([Figure 9](#)) explique naturellement l'abondance de galaxies massives à z > 10.
- **La Tension  $S_8$  :** La suppression du spectre de puissance à haute fréquence ([Figure 15](#)) lisse l'agglutination de la mat  re locale, résolvant le conflit avec le Weak Lensing.

Figure 17: **Réconciliation des Tensions (Whisker Plot).** Comparaison des valeurs de  $H_0$  et  $S_8$ . En haut : Les mesures locales (SH0ES) en rouge et CMB (Planck) en vert sont en désaccord. Au centre : Le modèle MCGT (bleu) chevauche les deux domaines, illustrant la réconciliation statistique des sondes.

## 5 Conclusion

Le Modèle de la Courbure Gravitationnelle du Temps (MCGT) v2.5.4 est une forteresse théorique validée. En unifiant la résolution de  $H_0$ , JWST et  $S_8$  sous un formalisme géométrique unique, et en s'appuyant sur une architecture de code auditée, il représente un candidat sérieux pour le "Nouveau Modèle Standard".