

# Une Approche Chronodynamique de la Cosmologie : Dynamique Temporelle et Signatures Observationnelles

Auteur : Aksel Boursier<sup>1</sup>, Indépendant

(1) Email : [boursier81@gmail.com](mailto:boursier81@gmail.com)

## Résumé (Abstract)

Le modèle cosmologique standard,  $\Lambda$ CDM, bien que remarquablement prédictif, fait face à des tensions persistantes, notamment sur la valeur de la constante de Hubble ( $H_0$ ) et à des observations récentes (DESI, JWST) qui suggèrent une possible dynamique de l'énergie sombre. Dans cet article, nous proposons un modèle cosmologique alternatif, le **modèle chronodynamique (CCD)**, où la constante cosmologique est remplacée par un tenseur  $C_{\mu\nu}$  émergent d'un champ rythmique scalaire  $R(t)$  qui modélise la structure dynamique locale du temps. Ce cadre, dérivé d'un lagrangien opératoire, donne naturellement lieu à une **trichotomie dynamique** à travers trois régimes cosmologiques distincts — radiation, transition et matière — chacun avec une signature temporelle propre et une loi de conservation spécifique. Le modèle offre une alternative cohérente aux approches standards et suggère des pistes observationnelles falsifiables pour sonder la nature même du temps cosmique.

## 1. Introduction

Le modèle  $\Lambda$ CDM s'est imposé comme le cadre standard de la cosmologie moderne. Cependant, plusieurs tensions observationnelles majeures remettent en question sa complétude : la « tension de Hubble », un désaccord de 4 à  $6\sigma$  entre les mesures locales et primordiales de  $H_0$  (1, 2) ; les résultats récents de l'instrument DESI qui favorisent une énergie sombre dynamique (3) ; et la découverte de galaxies étonnamment massives aux premiers âges de l'univers par le télescope JWST (4).

Ces défis suggèrent que la nature de l'accélération cosmique pourrait être plus complexe qu'une simple constante. Dans ce contexte, nous introduisons un cadre théorique fondé non sur une nouvelle forme d'énergie ou une modification de la gravitation, mais sur l'idée que **le temps lui-même est un champ physique dynamique**. Ce champ, que nous nommons champ rythmique  $R(t)$ , génère un tenseur chronodynamique  $C_{\mu\nu}$  qui se substitue à  $\Lambda g_{\mu\nu}$  et module l'évolution de l'univers.

## 2. Le Modèle Cosmologique Chronodynamique (CCD)

Nous modifions les équations d'Einstein par l'introduction du tenseur  $C_{\mu\nu}$  :

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = 8\pi G T_{\mu\nu} + C_{\mu\nu}$$

Ce tenseur est postulé comme émergeant d'un champ rythmique scalaire  $R(t)$ , qui mesure l'écart entre le temps propre  $\tau$  des observateurs comobiles et un temps de référence universel  $T(t)$  :

$$R(t) = d\tau/dT$$

## 2.1 Formulation Lagrangienne du Modèle

Pour garantir la cohérence interne du modèle, nous le dérivons d'un principe de moindre action. Nous introduisons un lagrangien opératoire pour le champ chronodynamique :

$$L_{CCD} = -g[f(t) + h(t)R^2(t)]$$

où :

- $f(t)$  est une fonction scalaire qui, dans un univers FLRW, est liée à la dynamique du facteur d'échelle :  
 $f(t) = a'^2 + aa''$
- $h(t)$  est une fonction de couplage rythmique.
- $R(t)$  est le champ rythmique scalaire.

Le tenseur chronodynamique dérive alors de la variation de ce lagrangien par rapport à la métrique :

$$C_{\mu\nu} = -\frac{2}{\sqrt{-g}} \frac{\delta L_{CCD}}{\delta g_{\mu\nu}} = h(t) R^2(t) \delta_{\mu\nu}$$

Ce tenseur est diagonal dans la base comobile. En vertu des identités de Bianchi, la condition de conservation  $\nabla_\mu C_{\mu\nu} = 0$  est une conséquence directe de la théorie. Pour un univers FLRW, elle se simplifie en une unique équation de contrainte qui gouverne l'ensemble de la dynamique :

$$d[h(t)R^2(t)] + 3aa'f(t) = 0$$

Cette équation de contrainte engendre trois régimes analytiques distincts, étudiés dans la section suivante.

## 3. Théorèmes de Régime et Trichotomie Chronodynamique

L'interaction entre la dynamique de l'expansion ( $a(t)$ ) et la contrainte de conservation produit trois phases cosmologiques distinctes.

### 3.1 Régime Radiatif ( $a(t) \propto t^{1/2}$ )

Un calcul direct montre que la composante scalaire s'annule identiquement :

$$f(t) = \dot{a}^2 + a\ddot{a} = 0$$

L'équation de contrainte se réduit alors à :

$$\frac{d}{dt}[h(t)R^2(t)] = 0 \Rightarrow h(t)R^2(t) = \text{Constante}$$

C'est un régime de conservation stricte. L'univers est rythmiquement neutre spatialement ; la dynamique se concentre dans une composante temporelle qui s'auto-régule.

### 3.2 Régime Matière-Dominé ( $a(t) \propto t^{2/3}$ )

Ici,  $f(t) = 0$ . La conservation impose une relation de proportionnalité dynamique  $h(t) = \lambda(t)f(t)$ , où le couplage  $\lambda(t)$  doit évoluer selon :

$$\lambda(t) = 3k \sim 4a^3 t^2 (1 + a^3 t^2 k \sim)^3$$

(en supposant  $R(t) = (1 + k \sim a - 3) - 1$ ). C'est un régime d'évolution complexe avec une amplification temporelle croissante.

### 3.3 Régime de Transition Matière-Radiation

Dans cette phase,  $f(t)$  prend la forme non-nulle  $f(t) = -2a(t)H^2\Omega_m$ . La conservation donne alors une loi d'évolution active :

$$h(t)R^2(t) = -a(t)5H^2\Omega_m + C$$

C'est un régime de régulation dynamique, où la coexistence de la matière et du rayonnement agit comme une source temporelle intermédiaire.

## 4. Prédictions Observationnelles

Cette trichotomie constitue la signature principale du modèle CCD.

| Époque |  $f(t)$  | Équation de Régulation | Signature du Régime |

| — | — | — | — |

| Radiation |  $= 0$  |  $h(t)R^2(t) = Cte$  | Conservation Stricte |

| Transition |  $\propto -a - 1$  |  $hR^2 \propto -a - 1 + C$  | Régulation Intermédiaire |

| Matière | =0 |  $h(t)=\lambda(t)\cdot f(t)$  | Évolution Complexe |

Les effets observationnels attendus sont :

- **CMB** : Une modification de la physique de la recombinaison due à la dynamique de transition, affectant la fonction de visibilité et la morphologie des pics acoustiques.
- **Croissance des structures** : Des signatures distinctes dans l'évolution de  $\sigma_8(z)$ , testables par les grands relevés galactiques.
- **Galaxies à haut redshift (JWST)** : Une formation potentiellement accélérée des premières structures dans le régime matière primordial.
- **Tension de Hubble** : Une possible réconciliation via une différence de « flux temporel » entre l'univers jeune et l'univers local.

## 5. Discussion : Implications Physiques et Philosophiques

Au-delà de ses prédictions, le modèle CCD invite à une relecture de nos concepts fondamentaux.

### 5.1 La Nature Physique du Temps

Contrairement à la vision standard où le temps est un paramètre ou une coordonnée de l'évolution de l'univers (« l'univers-bloc »), le CCD le traite comme un **champ physique actif**. Le temps n'est plus la scène sur laquelle se joue la physique, il devient un des acteurs. La trichotomie dynamique que nous avons démontrée n'est autre que la manière dont ce « fluide temporel » répond à son contenu matériel. La matière et le rayonnement ne se contentent pas de courber l'espace-temps ; ils en modulent la pulsation intime.

### 5.2 Vers une Loi Évolutive

Le modèle suggère une perspective fascinante sur la nature des lois physiques. La condition  $\nabla_\mu C_{\mu\nu}=0$  n'est pas une loi arbitraire ; elle est dictée par la structure même de la géométrie (identités de Bianchi). Cependant, cette « méta-loi » ne fixe pas les couplages  $h(t)$  et  $f(t)$  de manière absolue. Au contraire, elle dicte comment ces couplages doivent évoluer en fonction de l'époque cosmologique.

Cela nous éloigne d'une vision platonicienne de lois immuables pour nous rapprocher d'une conception où les « lois » elles-mêmes sont des propriétés émergentes et dynamiques de l'état global de l'univers. La loi n'est pas ce qui est constant, mais ce qui régit la transformation.

### 5.3 L'Observateur et la Mesure

Le modèle fait appel à la notion d'un « temps objectif universel »  $T(t)$ , qui ne peut être mesuré directement mais qui sert de référentiel pour définir le rythme local  $R(t)$ . Cela introduit conceptuellement un « troisième observateur », non pas comme une entité physique, mais comme un point de vue théorique nécessaire pour donner sens à une dynamique temporelle globale.

Cette perspective remet en question la séparation nette entre le système observé et l'acte d'observation. Si le temps lui-même est un champ, alors chaque mesure du temps est une interaction avec ce champ. L'observateur n'est plus un simple témoin passif de l'écoulement du temps ; il participe, par sa propre existence locale (son propre temps propre  $\tau$ ), à la manifestation de la dynamique cosmique.

## 6. Conclusion et Perspectives

Le modèle chronodynamique (CCD) propose que la dynamique de l'univers soit gouvernée non par une mystérieuse énergie sombre, mais par la structure évolutive du temps lui-même. Nous avons montré qu'un lagrangien opératoire simple et cohérent engendre naturellement les trois régimes temporels fondamentaux de l'histoire cosmique, chacun doté de sa propre « loi » de conservation ou d'évolution.

Ce cadre théorique unifie plusieurs aspects de la physique cosmologique et ouvre des pistes pour résoudre certaines des tensions observationnelles actuelles. Les prochaines étapes sont claires :

1. **Confrontation quantitative aux données** : Une implémentation numérique (via des analyses MCMC) est nécessaire pour contraindre les paramètres fondamentaux du modèle ( $k$ ,  $A$ ,  $C$ ) en utilisant les données de Planck, DESI, et JWST.
2. **Développement théorique** : Explorer des formulations covariantes plus générales du lagrangien et étudier le comportement du champ rythmique dans des environnements astrophysiques non-homogènes (autour des trous noirs, par exemple).

En définitive, le modèle CCD suggère que pour comprendre l'infiniment grand, il nous faudra peut-être d'abord repenser la nature de l'entité la plus intime de notre expérience : le temps.

## Références

(1) Riess, A. G., et al. (2022). A Comprehensive Measurement of the Local Value of the Hubble Constant with 1 km/s/Mpc Uncertainty from the Hubble Space Telescope and the SH0ES Team. *The Astrophysical Journal Letters*, 934(1), L7.

- (2) Planck Collaboration (Aghanim, N., et al.). (2020). Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters. *Astronomy & Astrophysics*, 641, A6.
- (3) DESI Collaboration. (2024). DESI 2024 Results: Cosmological Constraints from the Dark Energy Spectroscopic Instrument. *arXiv:2404.03002*.
- (4) Boylan-Kolchin, M. (2023). Stress testing  $\Lambda$ CDM with high-redshift galaxy candidates. *Nature Astronomy*, 7, 731–735.
- (5) Peebles, P. J. E., & Ratra, B. (2003). The cosmological constant and dark energy. *Reviews of Modern Physics*, 75(2), 559–606.
- (6) Carroll, S. M. (2001). The cosmological constant. *Living Reviews in Relativity*, 4(1), 1.