

# Forces Fondamentales Complémentaires dans le Cadre AIO :

Force de Cohésion Cosmique (FCC), Force de Liaison  
Quantique (FLQ) et Force d'Expansion Dynamique  
(FED)

Projet AIO

5 mars 2025

## Résumé

Dans la poursuite du projet AIO (Alpha to Omega), qui propose une vision unifiée de l'univers à travers des équations conceptuelles majeures (État Unifié, Brisure de Symétrie et Dualité Particules-Espace-Temps), nous introduisons ici trois forces complémentaires : la *Force de Cohésion Cosmique* (FCC), la *Force de Liaison Quantique* (FLQ) et la *Force d'Expansion Dynamique* (FED). Ces trois forces, chacune décrite par une équation conceptuelle, visent à mieux représenter certaines dynamiques intermédiaires entre l'échelle cosmique et l'échelle quantique, tout en restant dans la perspective unificatrice chère à AIO.

## Table des matières

### 1 Introduction

Dans la lignée des travaux d'unification (Relativité Générale, Théories de Grande Unification, Théorie des Cordes, etc.), le projet AIO ambitionne de concevoir un formalisme *conceptuel* capable de décrire à la fois :

- Les forces fondamentales (gravitation, électromagnétisme, interactions faible et forte) et la structure de l'espace-temps [?, ?].
- Les transitions qui ont permis à ces forces de se différencier au sein d'un état initialement symétrique (brisure de symétrie).
- La dualité entre particules et espace-temps (émergence et unification au niveau quantique).

Au sein du projet AIO, nous avons proposé des *Équations Conceptuelles d'AIO* visant à clarifier les phases d'unification et de brisure de symétrie, et nous introduisons ici trois nouvelles **forces complémentaires** :

1. **Force de Cohésion Cosmique (FCC),**
2. **Force de Liaison Quantique (FLQ),**
3. **Force d’Expansion Dynamique (FED).**

Ces dénominations, bien qu’encore spéculatives, cherchent à rendre compte de la diversité des phénomènes gravitationnels et quantiques parfois difficiles à catégoriser uniquement via les quatre forces de la physique standard ou via l’énergie sombre.

## 2 Force de Cohésion Cosmique (FCC)

### 2.1 Forme conceptuelle

Nous écrivons la Force de Cohésion Cosmique (FCC) comme :

$$\text{FCC}(t, \theta) = \left( b(t) \cdot e^{im\theta} \right) \times \Psi(t, r(t, \theta)), \quad (1)$$

où :

- $b(t)$  est une fonction du temps reflétant l’*intensité* de la FCC, potentiellement liée à la distribution de la matière et de l’énergie dans l’univers (échelle intermédiaire entre galaxies et amas de galaxies, par exemple).
- $e^{im\theta}$  est un *facteur de phase* complexifiant la dynamique, avec  $m$  un paramètre (quantique ou topologique) et  $\theta$  un angle ou variable de phase cosmologique.
- $\Psi(t, r(t, \theta))$  est une fonction complexe modélisant la *cohésion* à l’échelle cosmique, pouvant inclure des termes de gravitation modifiée, de champs scalaires hypothétiques (ex. quintessence), ou d’effets de corrélation à grande échelle.

### 2.2 Interprétation et pistes

**Lien avec la gravitation à grande échelle.** La FCC peut être vue comme une extension ou une *composante effective* qui tenterait d’expliquer certains effets non résolus de la gravitation [?, ?], tels que :

- La répartition inhabituelle de la matière noire [?];
- Les corrélations à grande échelle entre galaxies [?].

**Notion de “cohésion cosmique”.** On peut l’interpréter comme un *facteur de couplage* à l’échelle du réseau cosmique, tenant compte à la fois de la *topologie globale* de l’univers (pouvant être codée dans  $e^{im\theta}$ ) et des fluctuations locales de champ (incluses dans  $\Psi$ ).

#### Justifications indirectes.

- *Observationnelles* : Les grandes structures (filaments, amas) montrent souvent des dynamiques excédant celles prédites par la seule gravitation newtonienne ou la relativité générale avec la quantité de matière lumineuse connue.
- *Théoriques* : L’introduction de champs scalaires (comme la quintessence), ou de modifications de la gravitation (MOND, f(R), etc.), suggère l’existence d’une “force effective” supplémentaire [?].

## 3 Force de Liaison Quantique (FLQ)

### 3.1 Forme conceptuelle

La Force de Liaison Quantique (FLQ) est exprimée comme :

$$\text{FLQ}(t, \theta) = \left( c(t) \cdot e^{ip\theta} \right) \times \Omega(t, r(t, \theta)). \quad (2)$$

Ici :

- $c(t)$  représente une fonction d'*évolution temporelle* liée à l'intensité des interactions quantiques (par exemple, couplages effectifs à haute énergie).
- $e^{ip\theta}$  un facteur de phase lié à des degrés de liberté potentiellement supra-quantique (phases topologiques, anomalies, etc.).
- $\Omega(t, r(t, \theta))$  décrit la *dynamique des particules et des champs* à l'échelle subatomique : elle peut inclure des éléments relatifs au modèle standard, à la chromodynamique quantique (QCD), et à l'électrofaible.

### 3.2 Interprétation et liens avec la physique des particules

**Unification des interactions nucléaires et électromagnétiques.** La FLQ engloberait l'idée qu'à des énergies suffisamment élevées (début de l'univers), les forces nucléaires (forte et faible) et l'électromagnétisme pourraient s'unifier [?, ?] en un seul "bloc quantique" – la FLQ cherchant à rendre compte d'un *effet global* perdurant, même à basse énergie, via des couplages résiduels.

**Rôle potentiel dans la cohérence quantique macroscopique.** À l'échelle mésoscopique ou macroscopique, on peut imaginer que des *effets de phase* ( $e^{ip\theta}$ ) contribuent à des phénomènes de cohérence quantique collective (supraconductivité, superfluidité, condensation de Bose-Einstein). La FLQ, dans cette optique, modélise une *liaison* sous-jacente entre degrés de liberté quantiques [?, ?].

#### Justifications et preuves.

- *Expérimentales* : La découverte du boson de Higgs et la validation de la brisure de symétrie électrofaible indiquent que les forces électrofaibles partagent un substrat unifié. L'interaction forte est décrite par la QCD, mais les GUT (Théories de Grande Unification) suggèrent une convergence à haute énergie [?].
- *Indirectes* : Les scénarios de gravité quantique à boucles, de théorie des cordes, ou encore les approches holographiques (AdS/CFT, dualités) pointent vers une *liaison* profonde entre divers champs quantiques et la géométrie de l'espace-temps [?, ?].

## 4 Force d'Expansion Dynamique (FED)

### 4.1 Forme conceptuelle

La Force d'Expansion Dynamique (FED) s'écrit :

$$\text{FED}(t, \theta) = \left( d(t) \cdot e^{iq\theta} \right) \times \Lambda(t, r(t, \theta)), \quad (3)$$

avec :

- $d(t)$  mesurant l'*intensité de l'expansion* de l'univers, potentiellement reliée à l'énergie sombre ou à des phases inflationnaires précoces [?].
- $e^{iq\theta}$  comme un facteur de phase pouvant représenter la contribution de fluctuations quantiques à grande échelle ou l'influence d'effets topologiques sur l'expansion.
- $\Lambda(t, r(t, \theta))$  décrivant les mécanismes (champ scalaire d'inflaton, constante cosmologique, quintessence) responsables de l'*accélération* de l'expansion cosmique [?].

### 4.2 Interprétation et implications cosmologiques

**Énergie sombre et inflation.** La FED se veut une *force conceptuelle* englobant non seulement l'effet de la constante cosmologique (au sens Einsteinien), mais aussi les possibles champs responsables de l'inflation et les phases transitoires d'expansion accélérée au cours de l'histoire cosmique [?].

**Rôle potentiel de fluctuations quantiques.** Le facteur de phase  $e^{iq\theta}$  laisse la porte ouverte à une *interaction* entre les fluctuations du vide quantique et la dynamique globale de l'expansion, ce qui pourrait expliquer certaines *disparités* entre mesures cosmologiques (ex. tension sur la constante de Hubble  $H_0$ ) [?, ?].

**Preuves et validations.**

- *Directes* : Les observations du décalage vers le rouge des supernovae de type Ia, les mesures du fond diffus cosmologique (CMB) et des oscillations acoustiques baryoniques (BAO) attestent d'une expansion accélérée de l'univers [?].
- *Indirectes* : Certains scénarios d'inflation reposent déjà sur l'existence d'un *champ scalaire* (l'inflaton) couplé à la géométrie. La FED généralise cette idée en postulant une "force" conceptuelle associée à tous les processus d'expansion.

## 5 Discussion : vers une synthèse avec AIO

Les trois forces présentées (FCC, FLQ, FED) prolongent les *équations d'unification* déjà évoquées dans le cadre AIO [?, ?], notamment :

1. **L'Équation d'État Unifié** :  $\Omega_U = \Phi(\mathbf{X}, \mathcal{E}_{\text{tot}})$ .
2. **L'Équation de Brisure de Symétrie** :  $S(\mathbf{X}, T) = \Psi(\Phi, T_{\text{univ}})$ .
3. **La Dualité Particules-Espace-Temps** :  $\Delta(\mathbf{p}, \text{ST}) = \Omega(\Phi, \mathcal{G}_Q)$ .

**FCC et FLQ : un pont entre la brisure de symétrie et la matière.** La FCC pourrait constituer une manifestation à grande échelle d'un état encore partiellement symétrique, tandis que la FLQ témoignerait, au niveau quantique, d'une *liaison résiduelle* entre interactions unifiées. Ainsi, ces deux forces proposent des *passerelles* entre l'état initialement unifié et l'univers fragmenté d'aujourd'hui.

**FED et l'expansion cosmique.** La FED se concentre spécifiquement sur la dynamique globale, reliant les évolutions de  $\mathcal{E}_{\text{tot}}$  et l'émergence de la géométrie (ou métrique) de l'espace-temps. Dans la perspective AIO, la FED pourrait donc représenter la *mise en acte* de la brisure de symétrie à l'échelle de l'univers tout entier, par le biais d'un champ à large portée (énergie sombre/inflaton).

## 6 Conclusion et Perspectives

En formulant ces trois forces complémentaires :

- **Force de Cohésion Cosmique (FCC)** : rend compte des corrélations à grande échelle, potentiellement liées à la matière noire et à la structure en réseau de l'univers ;
- **Force de Liaison Quantique (FLQ)** : suggère l'existence d'un effet unificateur résiduel entre les interactions quantiques, reliant les couplages du Modèle Standard ;
- **Force d'Expansion Dynamique (FED)** : formalise l'influence des champs responsables de l'expansion accélérée, tant à l'époque inflationnaire qu'à l'ère actuelle dominée par l'énergie sombre.

Nous espérons offrir une *vision plus riche* de la transition entre l'état unifié primordial et l'univers tel qu'on l'observe à différentes échelles.

### Pistes de recherche

1. *Approfondissement mathématique* : Développer des approches géométriques rigoureuses (ex. géométrie différentielle, topologie quantique) pour formaliser les fonctions  $b(t)$ ,  $c(t)$ ,  $d(t)$  et leurs facteurs de phase.
2. *Tests observationnels* :
  - Recherches d'anomalies gravitationnelles à grande échelle (cartes 3D de galaxies, effets d'amas sur la matière noire, etc.) pour la FCC.
  - Mesures de couplages de jauge à haute énergie (collisions LHC/HL-LHC, possible futur collisionneur) pour la FLQ.
  - Observations en cosmologie de précision (CMB, BAO, supernovae) et tests de l'inflation (spectre des ondes gravitationnelles primordiales) pour la FED.
3. *Intégration dans une théorie de la gravité quantique* : Relier les trois forces FCC, FLQ, FED avec la *dualité particules-espace-temps*, afin de voir si un *cadre unificateur* (théorie des cordes, gravité quantique à boucles, ou approche holographique) peut émerger.

## Références

- [1] S. Weinberg, *The Quantum Theory of Fields*, Cambridge University Press, 1995.
- [2] A. Zee, *Quantum Field Theory in a Nutshell*, Princeton University Press, 2010.
- [3] Planck Collaboration, “Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters,” *Astronomy & Astrophysics*, **641**, A6, 2020.
- [4] D. Clowe et al., “A Direct Empirical Proof of the Existence of Dark Matter,” *The Astrophysical Journal Letters*, 648 :L109–L113, 2006.
- [5] L. Bergström, “Non-baryonic dark matter : observational evidence and detection methods,” *Reports on Progress in Physics*, 63 :793–841, 2000.
- [6] J. Einasto, *Dark Matter in the Universe*, Singapore : World Scientific, 1997.
- [7] S. Carroll, *Spacetime and Geometry : An Introduction to General Relativity*, Addison-Wesley, 2004.
- [8] H. Georgi et S. L. Glashow, “Unity of All Elementary Particle Forces,” *Phys. Rev. Lett.*, 32, 438–441, 1974.
- [9] P. Langacker, “Grand Unified Theories and Proton Decay,” *Phys. Rept.*, 72, 185–385, 1981.
- [10] C. Rovelli, *Quantum Gravity*, Cambridge University Press, 2004.
- [11] J. Polchinski, *String Theory*, Cambridge University Press, 1998.
- [12] U. Amaldi, W. de Boer, and H. Fürstenau, “Comparison of grand unified theories with electroweak and strong coupling constants measured at LEP,” *Phys. Lett. B*, 260(3-4), 447–455, 1991.
- [13] J. M. Maldacena, “The large- $N$  limit of superconformal field theories and supergravity,” *Int. J. Theor. Phys.*, 38, 1113–1133, 1999.
- [14] M. Van Raamsdonk, “Building up spacetime with quantum entanglement,” *Gen. Rel. Grav.*, 42, 2323–2329, 2010.
- [15] A. G. Riess *et al.*, “Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant,” *The Astronomical Journal*, 116 :1009–1038, 1998.
- [16] A. R. Liddle, *An Introduction to Modern Cosmology*, 2nd ed., Wiley, 2003.
- [17] A. G. Riess *et al.*, “Large Magellanic Cloud Cepheid Standards Provide a 1% Foundation for the Determination of the Hubble Constant,” *The Astrophysical Journal*, 876 :85, 2019.