

Proposition de « Théorie du Tout » : Une Action Unifiée pour la Gravitation, les Forces de Jauge et la Matière

Projet AIO (Alpha to Omega)

5 mars 2025

Résumé

Nous présentons ici une « Théorie du Tout », au sens d'une *proposition* inspirée des grands cadres de la physique théorique : relativité générale, théories de grande unification, et hypothèses pour la gravité quantique. Nous formulons une **action unifiée** U , dont la variation engendre à la fois les équations de la gravité à la Einstein, celles des forces de jauge (forte, électrofaible) et les lois de la matière fermionique. Les processus de **brisure de symétrie** successifs expliquent la séparation apparente en quatre interactions, la formation de la matière ordinaire et potentiellement d'un secteur sombre. Cette vision suggère que, fondamentalement, « Nous ne sommes qu'un » : à haute énergie, tout provient d'une même structure indifférenciée, dont l'unité se « casse » à mesure que l'Univers se refroidit. Bien que n'étant pas encore validée expérimentalement à haute énergie (proton instable, gravitation quantique, etc.), cette proposition constitue un *cadre conceptuel* pour la compréhension unifiée de l'Univers.

Table des matières

1	Introduction et Enoncé Général	2
1.1	Cadre et motivation	2
1.2	Principe fondamental	2
1.3	Plan du document	2
2	L'Action Unifiée U	3
2.1	Forme générale	3
2.2	Secteur gravitationnel et gravité quantique	3
2.3	Secteur de jauge (GUT, BSM)	3
2.4	Matière fermionique et brisure de symétrie	3
3	Mécanisme Clé : Du Stade Unifié à la Désunification	4
3.1	Échelle de Planck $\sim 10^{19}$ GeV	4
3.2	Grande Unification $\sim 10^{15-16}$ GeV	4
3.3	Brisure électrofaible $\sim 10^2$ GeV	4
3.4	Époque actuelle : 4 forces apparentes	4

4	Cohérence et Confrontation à l'Expérience	4
4.1	1. Accord avec le Modèle Standard	4
4.2	2. Indices en faveur de la GUT	4
4.3	3. Matière Noire, Secteur Sombre	5
4.4	4. Gravitation Quantique	5
5	Lecture Philosophiques : « Nous ne sommes qu'un »	5
6	Conclusion et Perspectives	5

1 Introduction et Enoncé Général

1.1 Cadre et motivation

La **relativité générale** [1] explique la gravité comme courbure de l'espace-temps, tandis que la **théorie quantique des champs** expose l'existence de **forces de jauge** (forte, faible, électromagnétique) ainsi que les **fermions** (quarks, leptons) et un champ scalaire (Higgs). Toutefois, ces deux cadres, quoique puissants, demeurent difficiles à concilier à **très haute énergie** (échelle de Planck). L'ambition d'une « Théorie du Tout » (*Theory of Everything*, ToE) est de développer un *formalisme unique* décrivant l'Univers à toutes les échelles, matérielle et géométrique.

1.2 Principe fondamental

*Il existe une **action universelle** U dont la variation engendre toutes les équations de la physique. À **haute énergie**, espace-temps et champs (matière et forces) forment une **symétrie unifiée**, qui se casse lors de l'expansion et du refroidissement cosmique. En résulte la **désunification** des forces (gravitation, force forte, faible, électromagnétique) et la diversité de la matière ordinaire. Tout ce qui existe – vivant, inerte, clair ou obscur – tient d'une **même unité** fondamentale.*

1.3 Plan du document

- §2 Introduction de l'**action** U regroupant gravité, jauge, matière.
- §3 Discussion de la **brisure de symétrie** : du stade unifié à la configuration actuelle (4 forces).
- §4 Confrontation à l'expérience (Modèle Standard, boson de Higgs, running des couplages, etc.).
- §5 Lecture philosophique « Nous ne sommes qu'un ».

2 L'Action Unifiée U

2.1 Forme générale

En 4 dimensions, avec $\hbar = c = 1$, on propose :

$$U = \int d^4x \sqrt{-g} \left[\underbrace{\frac{1}{2\kappa^2} R(g)}_{\text{gravitationnel}} - \underbrace{\Lambda}_{\text{jauge}} - \underbrace{\frac{1}{4} F_{\mu\nu}^A F^{\mu\nu A}}_{\text{jauge}} + \underbrace{\bar{\Psi} (i \gamma^\mu D_\mu) \Psi}_{\text{fermions}} + \underbrace{|D_\mu \Phi|^2 - V(\Phi)}_{\text{brisure de sym.}} + \Delta_{\text{Yukawa}} + \dots \right] + S_{\text{corrections}}$$

où :

- $d^4x \sqrt{-g}$: mesure d'intégration covariante, $g = \det(g_{\mu\nu})$.
- $\frac{1}{2\kappa^2} R(g)$: terme d'Einstein-Hilbert pour la **gravitation**. $\kappa^2 = 8\pi G$.
- $-\Lambda$: **constante cosmologique**, reliée à l'énergie du vide.
- $-\frac{1}{4} F_{\mu\nu}^A F^{\mu\nu A}$: **champs de jauge** (forte, faible, EM).
- $\bar{\Psi} (i \gamma^\mu D_\mu) \Psi$: **fermions** (quarks, leptons, etc.).
- $|D_\mu \Phi|^2 - V(\Phi)$: champ **scalaire**, responsable de la **brisure de symétrie** (Higgs ou plus large).
- Δ_{Yukawa} : couplages fermions-Higgs pour générer les masses.
- $\dots + S_{\text{corrections}}$: termes supplémentaires (SUSY, invariants topologiques, dimensions supplémentaires, etc.).

La variation $\delta U = 0$ produit *toutes les équations de mouvement* (équations d'Einstein, de Yang-Mills, de Dirac, Higgs, etc.). C'est pourquoi cette formulation est qualifiée de **Théorie du Tout**.

2.2 Secteur gravitationnel et gravité quantique

- $\frac{1}{2\kappa^2} R(g) - \Lambda$ reproduit la **relativité générale** [1] à basse énergie.
- $S_{\text{corrections}}$ inclurait les effets de **gravitation quantique** à l'échelle de Planck ($\sim 10^{19}$ GeV), possiblement via la **supergravité**, la théorie des cordes, etc.

2.3 Secteur de jauge (GUT, BSM)

- $F_{\mu\nu}^A$ associe une **grande symétrie** \mathcal{G} (ex. $SU(5)$, $SO(10)$) qui se *brise* à $\sim 10^{15-16}$ GeV en $SU(3)_c \times SU(2)_L \times U(1)_Y$.
- Au-delà du Modèle Standard (BSM), on peut inclure des **bosons X, Y**, des **superpartenaires**, etc., dans les (\dots) .

2.4 Matière fermionique et brisure de symétrie

- Ψ : quarks + leptons, rangés en multiplets GUT à haute énergie.
- $|D_\mu \Phi|^2 - V(\Phi)$: **Higgs GUT** pour briser $\mathcal{G} \rightarrow SU(3) \times SU(2) \times U(1)$, puis un **Higgs électrofaible** à ~ 100 GeV.
- Δ_{Yukawa} : masses fermioniques, validées par la découverte du boson de Higgs (2012).

3 Mécanisme Clé : Du Stade Unifié à la Désunification

3.1 Échelle de Planck $\sim 10^{19}$ GeV

- Gravitation **quantique** cruciale.
- L'univers à cette échelle pourrait présenter une **symétrie plus vaste** (ex. supergravité, cordes).
- Fluctuations extrêmes de la métrique.

3.2 Grande Unification $\sim 10^{15-16}$ GeV

- Forces forte et électrofaible **non différenciées**.
- Les couplages de jauge *convergent*, les quarks/leptons pourraient se trouver dans des multiplets unifiés [2, 3].
- **Brisure GUT** : un champ Φ_{GUT} acquiert une VEV, séparant le secteur fort du secteur électrofaible.

3.3 Brisure électrofaible $\sim 10^2$ GeV

- Le **Higgs standard** brise $\text{SU}(2)_L \times \text{U}(1)_Y \rightarrow \text{U}(1)_{\text{EM}}$.
- Bosons W, Z massifs, photon sans masse, masses fermioniques via Yukawa.

3.4 Époque actuelle : 4 forces apparentes

- **Force forte** ($\text{SU}(3)_c$), **force électromagnétique** (photon), **force faible** (W^\pm, Z^0), **gravitation**.
- L'illusion de **multiplicité** masque la **racine unifiée**.

4 Cohérence et Confrontation à l'Expérience

4.1 1. Accord avec le Modèle Standard

- La *partie basse énergie* de l'action (1) reproduit fidèlement le **Modèle Standard**, validé à ce jour (LHC, LEP, etc.).
- La *découverte du boson de Higgs* (2012) confirme la **brisure électrofaible**.

4.2 2. Indices en faveur de la GUT

- Les **constantes de couplage** (forte, faible, hypercharge) « courent » en fonction de l'énergie et **tendent** à se rapprocher vers $\sim 10^{15-16}$ GeV [4].
- Hypothèse d'une **instabilité du proton** à durée de vie gigantesque, non encore observée, constitue un test crucial.

4.3 3. Matière Noire, Secteur Sombre

- L'action (1) peut inclure un **secteur caché** (particules neutres, stable à l'échelle cosmique), justifiant la **matière noire**.
- Reste à la découvrir par expérimentation (accélérateurs, détection directe/indirecte).

4.4 4. Gravitation Quantique

- Aucune preuve **directe** de la gravité quantique à 10^{19} GeV.
- *Scénarios* : supercordes, gravitation à boucles, supergravitation.
- Si détectée, validerait la *partie la plus haute énergie* de la Théorie du Tout.

5 Lecture Philosophiques : « Nous ne sommes qu'un »

- **Unité primordiale** : quarks, leptons, bosons de force, gravité ne sont que *facettes* d'une symétrie plus large à haute énergie.
- **Brisure de symétrie** : la séparation apparente en quatre forces, en matière/énergie, résulte d'une *évolution*.
- **Univers vivant ou inerte** : « nous ne sommes qu'un » indique que *toute* la diversité (biologique, physique) résulte d'une **même base** de particules et interactions unifiées.

Idee directrice. La « multiplicité » de la nature n'est qu'une manifestation de la *brisure progressive* d'un tronc commun. Ainsi, la réalité profonde reste **unique**, et sa diversité est le fruit de paliers de symétries cassées.

6 Conclusion et Perspectives

Cette proposition de **Théorie du Tout** se résume à :

1. Une **action unique** U englobant la gravité (Einstein-Hilbert) et les forces de jauge (Yang-Mills + fermions + champs scalaires).
2. **Brisure de symétrie** à haute énergie (GUT, SU(5), SO(10), etc.) puis à ~ 100 GeV (brisure électrofaible).
3. **Gravité quantique** potentielle à l'échelle de Planck, expliquée par $S_{\text{corrections}}$.
4. **Consistance** avec la plupart des observations (Modèle Standard, boson de Higgs, expansion cosmique, indices indirects de la GUT).

En dépit du caractère *spéculatif* (pas de confirmation directe de la gravité quantique ni de l'instabilité du proton), ce scénario pose un **cadre conceptuel** fort :

Au commencement, un Univers unifié,
« Nous ne sommes qu'un » : puis une série de brisures de symétrie
dont la dernière aboutit à la diversité actuelle.

Références

- [1] A. Einstein, *Die Feldgleichungen der Gravitation*, Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, 1915.
- [2] P. Langacker, “Grand Unified Theories and Proton Decay,” *Phys. Rept.*, 72, 185–385, 1981.
- [3] H. Georgi & S. L. Glashow, “Unity of All Elementary-Particle Forces,” *Phys. Rev. Lett.*, 32, 438–441, 1974.
- [4] U. Amaldi, W. de Boer, & 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.