

▶ Relativité générale : gravitation = espace-temps

▶ Gravitation Quantique : quantifier l'espace-temps

▶ Mon stage : Quantifier canoniquement la GFT

Lagrangien de la GFT \Rightarrow Hamiltonien
 \Rightarrow Quantification
 \Rightarrow Solutions de la théorie
= Particules

Quantifier et résoudre la GFT = construire des atomes d'espace-temps !!

LE BUT DU STAGE

LA GRAVITATION QUANTIQUE

Introduction : une révolution inachevée

Motivations

Différentes approches

La Group Field Theory

MON TRAVAIL

(QUELQUES RÉSULTATS)

Le lagrangien très inhabituel de la GFT

Quelques résultats

Conclusion

- ▶ Toujours **pas de synthèse cohérente** de la mécanique quantique et la relativité générale.
- ▶ Toutes les théories de la gravitation quantique sont **en construction** et peuvent être fausses.
- ▶ En l'absence de la théorie, le seul domaine de la gravitation quantique *a priori*, le **domaine de Planck**, est inaccessible à nos technologies :

$$l_P = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} \approx 10^{-35} m.$$

LE BUT DU STAGE

LA GRAVITATION
QUANTIQUE

Introduction : une
révolution inachevée

Motivations

Différentes
approches

La Group Field
Theory

MON TRAVAIL
(QUELQUES RÉSULTATS)

Le lagrangien très
inhabituel de la GFT
Quelques résultats

Conclusion

Motivations : Point de vue de la physique des particules

- ▶ Le **modèle standard** ne dit rien sur la gravitation.
- ▶ Une QFT possède des degrés de liberté à toutes les échelles \Rightarrow divergences. Longueur de Planck = **cut-off**?

LE BUT DU STAGE

LA GRAVITATION
QUANTIQUE

Introduction : une
révolution inachevée

Motivations

Différentes
approches

La Group Field
Theory

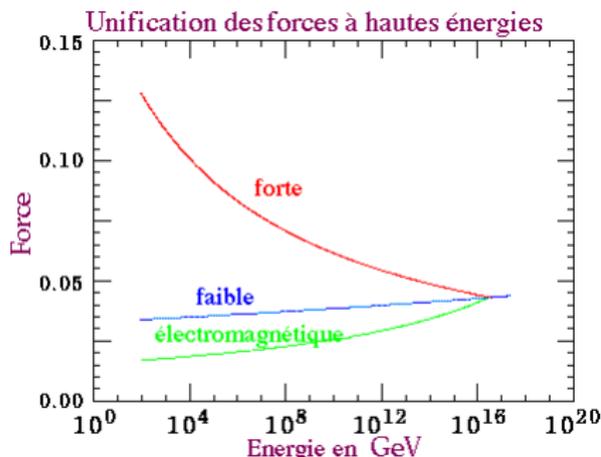
MON TRAVAIL
(QUELQUES RÉSULTATS)

Le lagrangien très
inhabituel de la GFT
Quelques résultats

Conclusion

Motivations : Point de vue de la physique des particules

- ▶ Les **constantes de couplages** « courent » et convergent autour de 10^{16} GeV proche de l'énergie de Planck $E_P \approx 10^{19}$ GeV.



LE BUT DU STAGE

LA GRAVITATION
QUANTIQUE

Introduction : une
révolution inachevée

Motivations

Différentes
approches

La Group Field
Theory

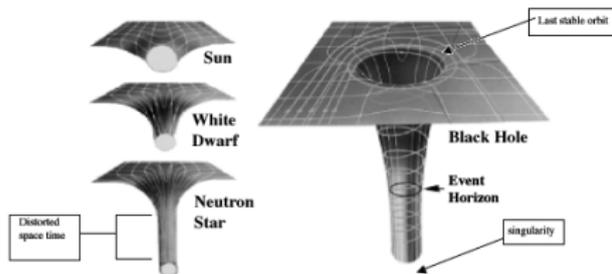
MON TRAVAIL
(QUELQUES RÉSULTATS)

Le lagrangien très
inhabituel de la GFT
Quelques résultats

Conclusion

Motivations : Point de vue de la relativité générale

- ▶ La présence de **singularités** dans la relativité générale.



- ▶ Une QFT qui se passe sur un espace-temps fixe n'a pas de sens. Il faut donc modifier la QFT pour devenir une théorie **background independent** (GFT).

LE BUT DU STAGE

LA GRAVITATION
QUANTIQUE

Introduction : une
révolution inachevée

Motivations

Différentes
approches

La Group Field
Theory

MON TRAVAIL
(QUELQUES RÉSULTATS)

Le lagrangien très
inhabituel de la GFT
Quelques résultats

Conclusion

Différentes approches de la gravitation quantique

Seule contrainte : la relativité générale et le modèle standard doivent **émerger** à basse énergie.

- ▶ Quantifier la relativité générale : GFT
- ▶ Quantifier une autre théorie : théorie des cordes.
- ▶ ...

LE BUT DU STAGE

LA GRAVITATION
QUANTIQUE

Introduction : une
révolution inachevée

Motivations

Différentes
approches

La Group Field
Theory

MON TRAVAIL
(QUELQUES RÉSULTATS)

Le lagrangien très
inhabituel de la GFT

Quelques résultats

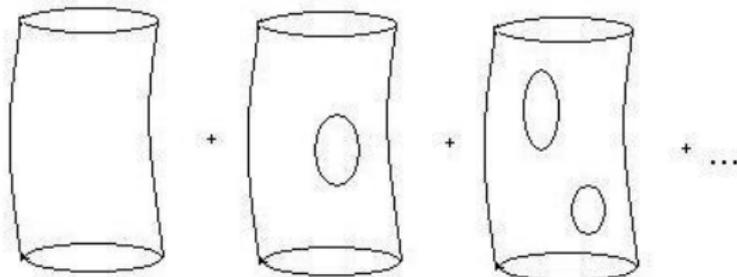
Conclusion

- ▶ Une théorie quantique des champs **de** l'espace-temps, par opposition au cas usuel d'une théorie quantique des champs **sur** l'espace-temps.

- ▶ Somme sur les géométries :

$$Z(h(S), h'(S')) = \int_{g/g(S)=h(S) \text{ et } g(S')=h'(S')} \mathcal{D}[g] e^{iS_{\text{GR}}(g)}$$

- ▶ Somme sur les topologies :



LE BUT DU STAGE

LA GRAVITATION
QUANTIQUE

Introduction : une
révolution inachevée

Motivations

Différentes
approches

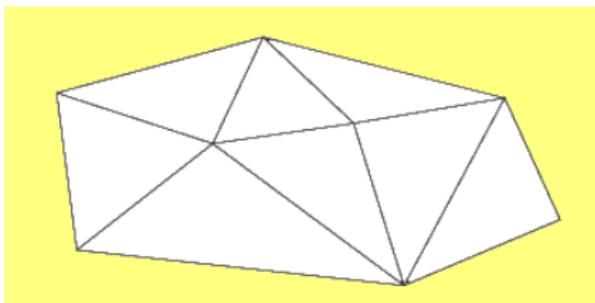
La Group Field
Theory

MON TRAVAIL
(QUELQUES RÉSULTATS)

Le lagrangien très
inhabituel de la GFT
Quelques résultats

Conclusion

- ▶ Très mal défini : on discrétise la géométrie



LE BUT DU STAGE

LA GRAVITATION
QUANTIQUE

Introduction : une
révolution inachevée

Motivations

Différentes
approches

La Group Field
Theory

MON TRAVAIL
(QUELQUES RÉSULTATS)

Le lagrangien très
inhabituel de la GFT
Quelques résultats

Conclusion

- ▶ Groupe de Lorentz $\mathbb{G} = SO(1, D - 1)$

$$\begin{aligned} \phi : \quad (\mathbb{G} \times \mathbb{R})^2 &\longrightarrow \mathbb{C} \\ (g_1, \tau_1, g_2, \tau_2) &\longmapsto \phi(g_1, \tau_1, g_2, \tau_2) \end{aligned}$$

- ▶ Action

$$S(\phi) = \int_{\mathbb{G}^2} d^2g \int_{\mathbb{R}^2} d^2\tau \phi^\dagger (\square_1 + i\partial_{\tau_1}) (\square_2 + i\partial_{\tau_2}) \phi + \text{c.c.}$$

- ▶ Etude sur \mathbb{R}^n

$$S(\phi) = \int_{\mathbb{R}^4} d^2x d^2\tau \phi^\dagger (\partial_{x_1}^2 + i\partial_{\tau_1}) (\partial_{x_2}^2 + i\partial_{\tau_2}) \phi + \text{c.c.}$$

LE BUT DU STAGE

LA GRAVITATION
QUANTIQUE

Introduction : une
révolution inachevée

Motivations

Différentes
approches

La Group Field
Theory

MON TRAVAIL
(QUELQUES RÉSULTATS)

Le lagrangien très
inhabituel de la GFT
Quelques résultats

Conclusion

► Lagrangien de la GFT

$$\mathcal{L} = \phi^\dagger(x_1, \tau_1, x_2, \tau_2) (\partial_{x_1}^2 + i\partial_{\tau_1}) (\partial_{x_2}^2 + i\partial_{\tau_2}) \phi(x_1, \tau_1, x_2, \tau_2) + \text{c.c.}$$

► Plusieurs temps : τ_1, τ_2

- Si on égalise les τ_i , théorie d'ordre supérieur
($\partial_\tau^2 \phi, \partial_\tau^3 \phi, \dots$) : **instable** ou **non causale**

LE BUT DU STAGE

LA GRAVITATION
QUANTIQUE

Introduction : une
révolution inachevée
Motivations
Différentes
approches
La Group Field
Theory

MON TRAVAIL
(QUELQUES RÉSULTATS)

Le lagrangien très
inhabituel de la GFT
Quelques résultats

Conclusion

- ▶ Construction de l'hamiltonien et de l'espace de Fock dans certains cas (cas le plus général en étude). Réalisation rigoureuse de l'intuition d'atome d'espace-temps.
- ▶ les atomes d'espace-temps sont des fermions.
- ▶ Une théorie libre mais qui dépend du temps $H(\tau_1, \tau_2)$!

LE BUT DU STAGE

LA GRAVITATION
QUANTIQUE

Introduction : une
révolution inachevée
Motivations
Différentes
approches
La Group Field
Theory

MON TRAVAIL
(QUELQUES RÉSULTATS)

Le lagrangien très
inhabituel de la GFT

Quelques résultats

Conclusion

- ▶ **L'émergence** de l'espace-temps classique :

$$\text{GFT} \quad \overset{\text{Formellement}}{=} \quad \text{QFT}$$

Etude de la limite semi-classique par les méthodes
de la physique statistique

- ▶ Dépendance temporelle de $H(\tau_1, \tau_2) \implies$ lien avec la **Thermal Field Theory**

- ▶ Cas le plus général (en étude) : lien avec la **mécanique de Nambu** et sa quantification hautement non triviale.

LE BUT DU STAGE

LA GRAVITATION
QUANTIQUE

Introduction : une
révolution inachevée

Motivations

Différentes
approches

La Group Field
Theory

MON TRAVAIL
(QUELQUES RÉSULTATS)

Le lagrangien très
inhabituel de la GFT
Quelques résultats

Conclusion