

# Les dimensions supplémentaires de l'espace-temps

ou: à quoi ressemble l'espace-temps, d'après la « théorie des cordes », et comment le savoir ?

Cédric Deffayet



L'objet de ce cours est de présenter de façon simple quelques développements récents de la physique théorique des « hautes énergies » qui ont conduit à envisager l'existence de « grandes » dimensions d'espace-temps supplémentaires (nous préciserons ce que nous entendons précisément par là dans le cours). Ce sujet peut paraître quelque peu éloigné de l'astronomie, cependant l'existence de ces dimensions supplémentaires pourrait avoir des conséquences très importantes pour comprendre les premiers instants de l'Univers, voire son évolution récente.

Le matériel fourni ci-après correspond à la trame du cours, et aux idées principales que nous aimerions faire passer à notre auditoire. Le cours étant dans le parcours « fil rouge », nous ferons aussi quelques petits calculs simples pour expliciter et préciser certaines notions et certains résultats. Ces calculs ne seront en **aucune façon nécessaires pour comprendre les idées générales du cours**. Ils nécessiteront simplement une certaine familiarité avec le « théorème de Gauss » de l'électromagnétisme, ainsi que de savoir ce qu'est une dérivée partielle et une série de Fourier. Mais nous précisons bien qu'il est tout à fait possible de suivre ce cours sans connaître ces notions, qui n'interviendront que de façon très périphérique.

## Est-ce observable ?

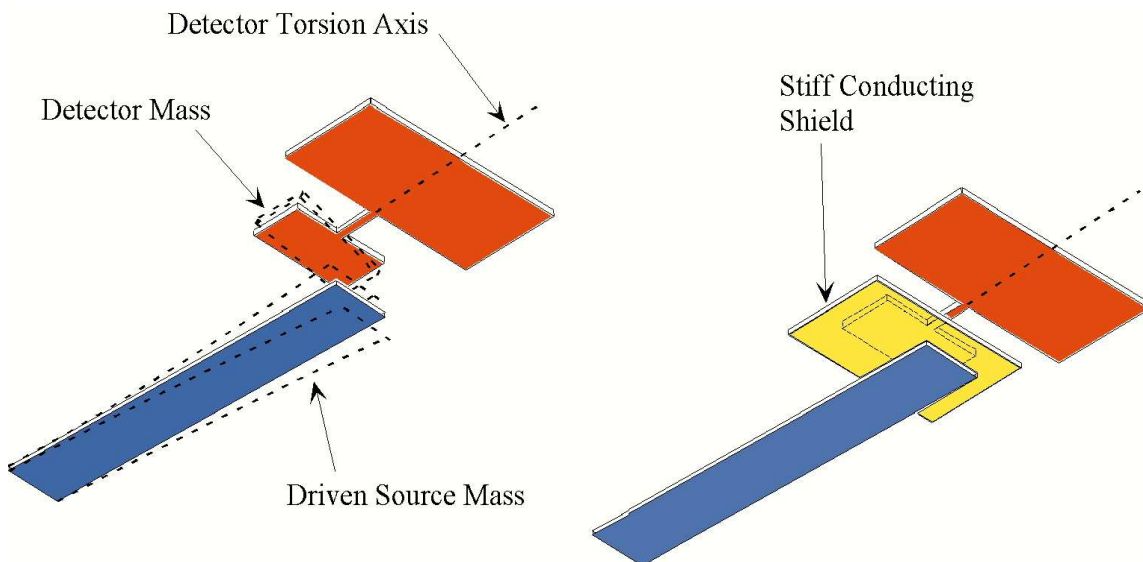
- ✓ Observable dans les accélérateurs de particules (mais seulement par perte d'énergie sous forme gravitationnelle dans les dimensions supplémentaires)
- ✓ Changer la cosmologie
- ✓ Modification de la gravitation à petite distance: sur des distances de l'ordre de la taille des dimensions supplémentaires



des dimensions supplémentaires aussi grandes qu'une fraction de mm!

... voire même infinies dans certains scénarios plus compliqués....

**... pour l'instant aucun signe de l'existence de ces dimensions, mais certains physiciens les recherchent activement...**



## **Mais le modèle standard n'est pas complètement satisfaisant**

- Trop de paramètres sans explication (une vingtaine)
- Ne décrit pas la force de gravitation de façon quantique (c'est-à-dire la façon dont la gravitation se comporte à très petite distance)...

La façon dont la force gravitationnelle se comporte à petite distance est inconnue, elle a seulement été mesurée jusqu'à des distances de l'ordre de 0.1 mm.

Une solution à ces problèmes ?

## La théorie des cordes

La théorie des cordes donne une description quantique de toutes les forces fondamentales, y compris la force de gravitation.

. Les poupées russes de l'espace-temps et de la gravitation

## Comment se représenter 4 dimensions?



Une façon de comprendre intuitivement les choses: supprimer une dimension d'espace (3 → 2)

Donc si on rajoute le temps à nos 3 dimensions spatiales « intuitives »:

on obtient l'espace-temps de Galilée qui a 4 dimensions, 3 dimensions spatiales et une temporelle.



de la relativité restreinte ■

Einstein (1905), La « relativité restreinte »:  
notre vision intuitive (galiléenne) de l'espace-temps n'est plus valable si on se déplace à des vitesses proches de celles de la lumière.

Einstein (1916), La « relativité générale »:  
la vision newtonienne de la force de gravitation n'est plus valable si on tient compte de la relativité restreinte

A chaque étape:

- Comprendre le plus petit permet (en principe) de comprendre le plus grand



Donc en allant vers le plus petit on va vers le plus « fondamental »

Aujourd'hui le plus « fondamental » :

- « Matière »: quarks, électrons...
- « Forces » entre ces constituants:  
3 forces bien comprises au niveau microscopique (électromagnétique, forte et faible) dans le cadre de la Mécanique quantique

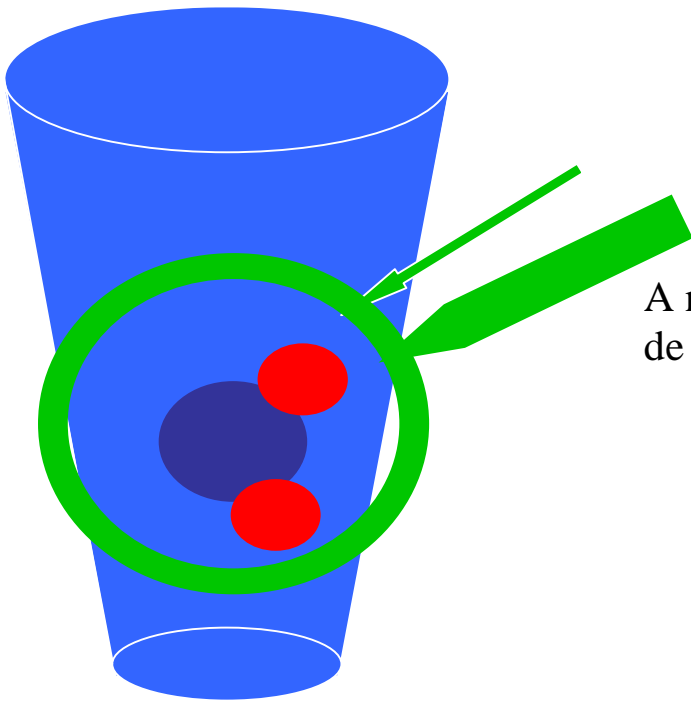
Modèle standard de la physique des particules,  
remarquablement bien testé expérimentalement.



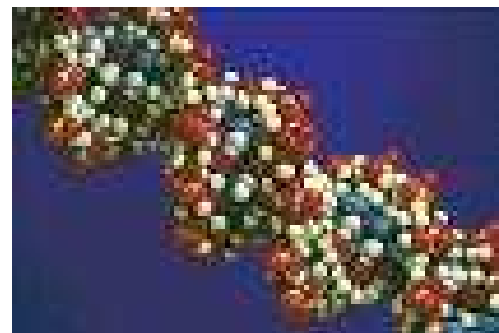
# 1. Les poupées russes de l'infiniment petit



A plus petite échelle (10 mm):  
molécules d'eau: physique  
moléculaire, chimie



A notre échelle:  
de l'eau dans un verre est bien décrite comme un



## Les poupées russes conceptuelles de la physique:



Pour décrire un phénomène: une théorie physique peut convenir ...

La description du monde qui nous entoure dépend des questions que l'on se pose...

...Mais n'être qu'une approximation d'une autre théorie physique décrivant le même phénomène de façon plus fine...

etc...

