



# “Puissances de Dix”

ou  
notre école: Théories Effectives en Physique de Particules et Cosmologie

**Sacha Davidson** (IN2P3/CNRS), **P Gambino** (U. Torino), **M Laine** (U. Bern), **M Neubert** (U. Mainz)  
co-organistateurs de l'école

1. La Physique théorique (construire modèle mathématique de phénomènes qui nous intéressent)  
des deux Infinis
2. une théorie “effective” = ... théorie à l'échelle qui nous intéresse
  - “Puissances de Dix”
3. Quelques exemples.....et quelques uns de nous



## Aux plus petites échelles...les particules élémentaires

- physique théorique des particules: paramétrisation/modélisation mathématique des résultats de nos collègues expérimentaux

...dans le but de *connaître* les particules élémentaires qui composent  $\left\{ \begin{array}{l} \text{nous} \\ \text{l'Univers} \end{array} \right.$   
et de *comprendre* leurs interactions (part. comme gens: on connaît mieux quand on a vu en groupe)

- particule est élémentaire si  $\approx$  point

exptal: pas discerner la taille (sur les plus petites distances observables)

théorique: on aime ponctuelle...vache =  $\left\{ \begin{array}{ll} \text{point} & \text{1er approx.} \\ \text{sphere} & \text{2ieme approx} \end{array} \right.$

## Aux plus petites échelles...les particules élémentaires

- physique théorique des particules: paramétrisation/modélisation mathématique des résultats de nos collègues expérimentaux

...dans le but de *connaître* les particules élémentaires qui composent  $\left\{ \begin{array}{l} \text{nous} \\ \text{l'Univers} \end{array} \right.$   
et de *comprendre* leurs interactions (part. comme gens: on connaît mieux quand on a vu en groupe)

- particule est élémentaire si  $\approx$  point

exptal: pas discerner la taille (sur les plus petites distances observables)

théorique: on aime ponctuelle...vache =  $\left\{ \begin{array}{ll} \text{point} & \text{1er approx.} \\ \text{sphere} & \text{2ieme approx} \end{array} \right.$

- on a “Modèle Standard” = liste de particules élémentaires et leurs interactions...depuis 40 ans. Explique (presque) tout les résultats exptaux (Higgs = clé de voute du MS)



## Le Modèle Standard

est une liste de particules ( $\approx$  peuple identique) et leurs interactions (4 possibilités)  
nous, la planète et les étoiles sont fait de particules MS...  
...mais  $\sim 95\%$  de l'Univers est fait d'autres choses (?)



## Le Modèle Standard

est une liste de particules ( $\approx$  peuple identique) et leurs interactions (4 possibilités)  
nous, la planète et les étoiles sont fait de particules MS...  
...mais  $\sim 95\%$  de l'Univers est fait d'autres choses (?)

1. **les inséparables**: 12 peuples de **quarks** (d'obèse à léger), et 8 de **gluons**

Avec les quarks et gluons, on fait des noyaux d'atome.

Aussi: quarks participent a la gravité, aux désintégrations nucléaires, et parlent à la lumière





# Le Modèle Standard

est une liste de particules ( $\approx$  peuple identique) et leurs interactions (4 possibilités)  
nous, la planète et les étoiles sont fait de particules MS...  
...mais  $\sim 95\%$  de l'Univers est fait d'autres choses (?)

1. **les inséparables**: 12 peuples de **quarks** (d'obèse à léger), et 8 de **gluons**  
Avec les quarks et gluons, on fait des noyaux d'atome.  
Aussi: quarks participent a la gravité, aux désintégrations nucléaires, et parlent à la lumière

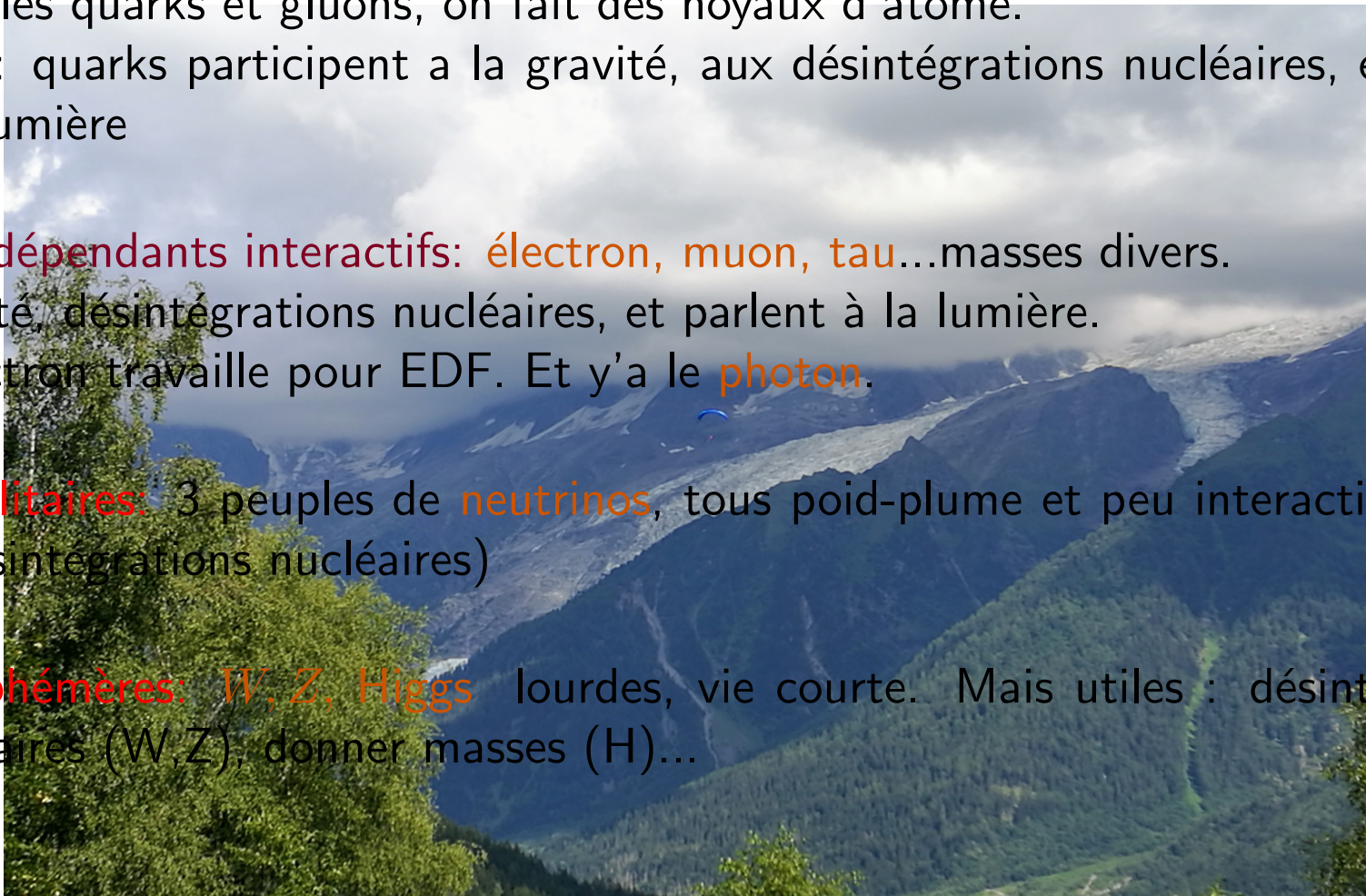
2. **les indépendants interactifs**: **électron, muon, tau**...masses divers.  
Gravité, désintégrations nucléaires, et parlent à la lumière.  
Et l'électron travaille pour EDF. Et y'a le **photon**.



# Le Modèle Standard

est une liste de particules ( $\approx$  peuple identique) et leurs interactions (4 possibilités)  
nous, la planète et les étoiles sont fait de particules MS...  
...mais  $\sim 95\%$  de l'Univers est fait d'autres choses (?)

- 1. les inséparables:** 12 peuples de **quarks** (d'obèse à léger), et 8 de **gluons**  
Avec les quarks et gluons, on fait des noyaux d'atome.  
Aussi: quarks participent a la gravité, aux désintégrations nucléaires, et parlent à la lumière
- 2. les indépendants interactifs:** **électron, muon, tau**...masses divers.  
Gravité, désintégrations nucléaires, et parlent à la lumière.  
L'électron travaille pour EDF. Et y'a le **photon**.
- 3. les solitaires:** 3 peuples de **neutrinos**, tous poid-plume et peu interactif (gravité et desintégrations nucléaires)
- 4. les éphémères:** **W, Z, Higgs** lourdes, vie courte. Mais utiles : désintégrations nucléaires (W,Z), donner masses (H)...







Au plus grandes échelles: la cosmologie de notre Univers

L'Univers est tellement grand, que les objets lointains sont plus jeunes...comme regarder ses pieds, et les voir à 5 ans





## Au plus grandes échelles: la cosmologie de notre Univers

L'Univers est tellement grand, que les objets lointains sont plus jeunes...comme regarder ses pieds, et les voir à 5 ans

L'Univers évolue lentement (comparé à vie humaine); pour connaître dynamique, faut faire archéologie = étudier "fossiles" pour remonter aux débuts...

## Quels liens entre l'infiniment petit et l'infiniment grand?

Pourquoi qu'à notre école, on fait les particules et le cosmos?

1. l'Univers aujourd'hui en expansion = tout recule par rapport a nous  
(s'imaginer sur la surface d'un ballon qu'on gonfle)

## Quels liens entre l'infiniment petit et l'infiniment grand?

Pourquoi qu'à notre école, on fait les particules et le cosmos?

1. l'Univers aujourd'hui en expansion = tout recule par rapport a nous  
(s'imaginer sur la surface d'un ballon qu'on gonfle)
2. donc autrefois, l'Univers était plus petit, plus dense...et plus chaud  
(particules comme gens: ca chauffe, quand y'a du monde)

## Quels liens entre l'infiniment petit et l'infiniment grand?

Pourquoi qu'à notre école, on fait les particules et le cosmos?

1. l'Univers aujourd'hui en expansion = tout recule par rapport a nous  
(s'imaginer sur la surface d'un ballon qu'on gonfle)
2. donc autrefois, l'Univers était plus petit, plus dense...et plus chaud  
(particules comme gens: ca chauffe, quand y'a du monde)
3. contrairement à nous, les particules sont *plus* énergétiques quand ils ont chaud...  
(justement, pcq la température mesure en combien les particules se bousculent)  
...et plus les particules sont énergétiques, plus qu'elles s'approchent de près



## Quels liens entre l'infiniment petit et l'infiniment grand?

Pourquoi qu'à notre école, on fait les particules et le cosmos?

1. l'Univers aujourd'hui en expansion = tout recule par rapport à nous  
(s'imaginer sur la surface d'un ballon qu'on gonfle)
2. donc autrefois, l'Univers était plus petit, plus dense...et plus chaud  
(particules comme gens: ça chauffe, quand y'a du monde)
3. contrairement à nous, les particules sont *plus* énergétiques quand ils ont chaud...  
(justement, pcq la température mesure en combien les particules se bousculent)  
...et plus les particules sont énergétiques, plus qu'elles s'approchent de près
4. donc, pendant les premiers fractions de secondes de la vie de l'Univers ( $\tau \sim 10^{10}$  ans), sensibilité à échelles au-delà de nos connaissances!

Et il y a fossiles de cette époque, et des cours dans notre école au sujet de ces fossiles

## **C'est quoi, une théorie effective?**

il y a des choses intéressantes à connaître à tout les échelles

## C'est quoi, une théorie effective?

il y a des choses intéressantes à connaître à tout les échelles... mais... pas besoin de tout savoir sur ce qui se passe aux échelles plus petites ou plus grandes

**ex:** pour s'occuper d'un village, pas besoin de connaître la vie intime de chaque famille, ni de suivre chaque détaille des débats nationaux

## C'est quoi, une théorie effective?

il y a des choses intéressantes à connaître à tout les échelles... mais... pas besoin de tout savoir sur ce qui se passe aux échelles plus petites ou plus grandes

**ex:** pour s'occuper d'un village, pas besoin de connaître la vie intime de chaque famille, ni de suivre chaque détail des débats nationaux

**ex:** pour envoyer une satellite à Saturn, il faut connaître la (distribution de) masse des planètes et leurs interactions gravitationnelles...mais rien des particules qui composent la planète

## C'est quoi, une théorie effective?

il y a des choses intéressantes à connaître à tout les échelles... mais... pas besoin de tout savoir sur ce qui se passe aux échelles plus petites ou plus grandes

**ex:** pour s'occuper d'un village, pas besoin de connaître la vie intime de chaque famille, ni de suivre chaque détail des débats nationaux

**ex:** pour envoyer une satellite à Saturn, il faut connaître la (distribution de) masse des planètes et leurs interactions gravitationnelles...mais rien des particules qui composent la planète

la notion de "théorie effective" est la formalisation de la façon qu'on pense:  
(= recette pragmatique pour modéliser les phénomènes qui nous intéressent)

1. on choisit les phénomènes/l'échelle qui nous intéresse
2. faire liste d'objets/variables pertinentes (villes ou galaxies?)
3. identifier dynamique principale
4. inclure, de façon structurée, les petites corrections qui viennent de phénomènes à échelles plus petites et plus grandes

## C'est quoi, une théorie effective?

il y a des choses intéressantes à connaître à tout les échelles... mais... pas besoin de tout savoir sur ce qui se passe aux échelles plus petites ou plus grandes

**ex:** pour s'occuper d'un village, pas besoin de connaître la vie intime de chaque famille, ni de suivre chaque détail des débats nationaux

**ex:** pour envoyer une satellite à Saturn, il faut connaître la (distribution de) masse des planètes et leurs interactions gravitationnelles...mais rien des particules qui composent la planète

la notion de "théorie effective" est la formalisation de la façon qu'on pense:  
(= recette pragmatique pour modéliser les phénomènes qui nous intéressent)

1. on choisit les phénomènes/l'échelle qui nous intéresse
2. faire liste d'objets/variables pertinentes (villes ou galaxies?)
3. identifier dynamique principale
4. inclure, de façon structurée, les petites corrections qui viennent de phénomènes à échelles plus petites et plus grandes

**\*\*dernière étape permet de raccorder des théories effectives d'échelles différentes\*\***  
:choisir échelle intermédiaire, ou les deux théories sont acceptables, et accorder les paramètres pour que les théories disent la même chose.

## Puissances de Dix

...pour illustrer que les objets/variables pertinents évoluent avec l'échelle...

(vidéo américaine de 1977, mis à jour par le CERN en 2011)

# Une théorie effective pour le système solaire

pluton

(pour envoyer une satellite à saturne)

neptune

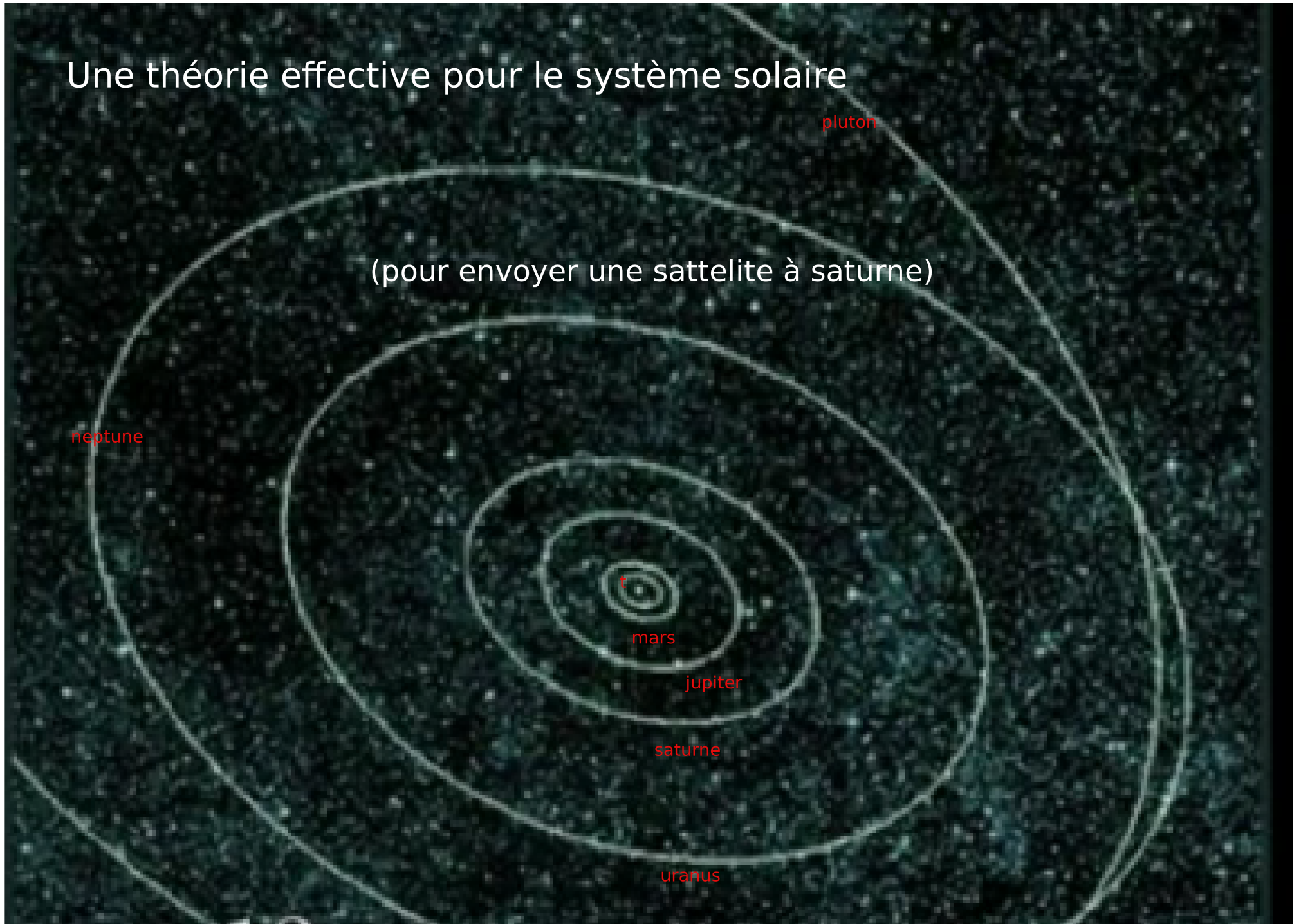
t

mars

jupiter

saturne

uranus





# Une théorie effective pour le système solaire

variables/objets = planètes

dynamique/intéractions = gravité

pluton

neptune

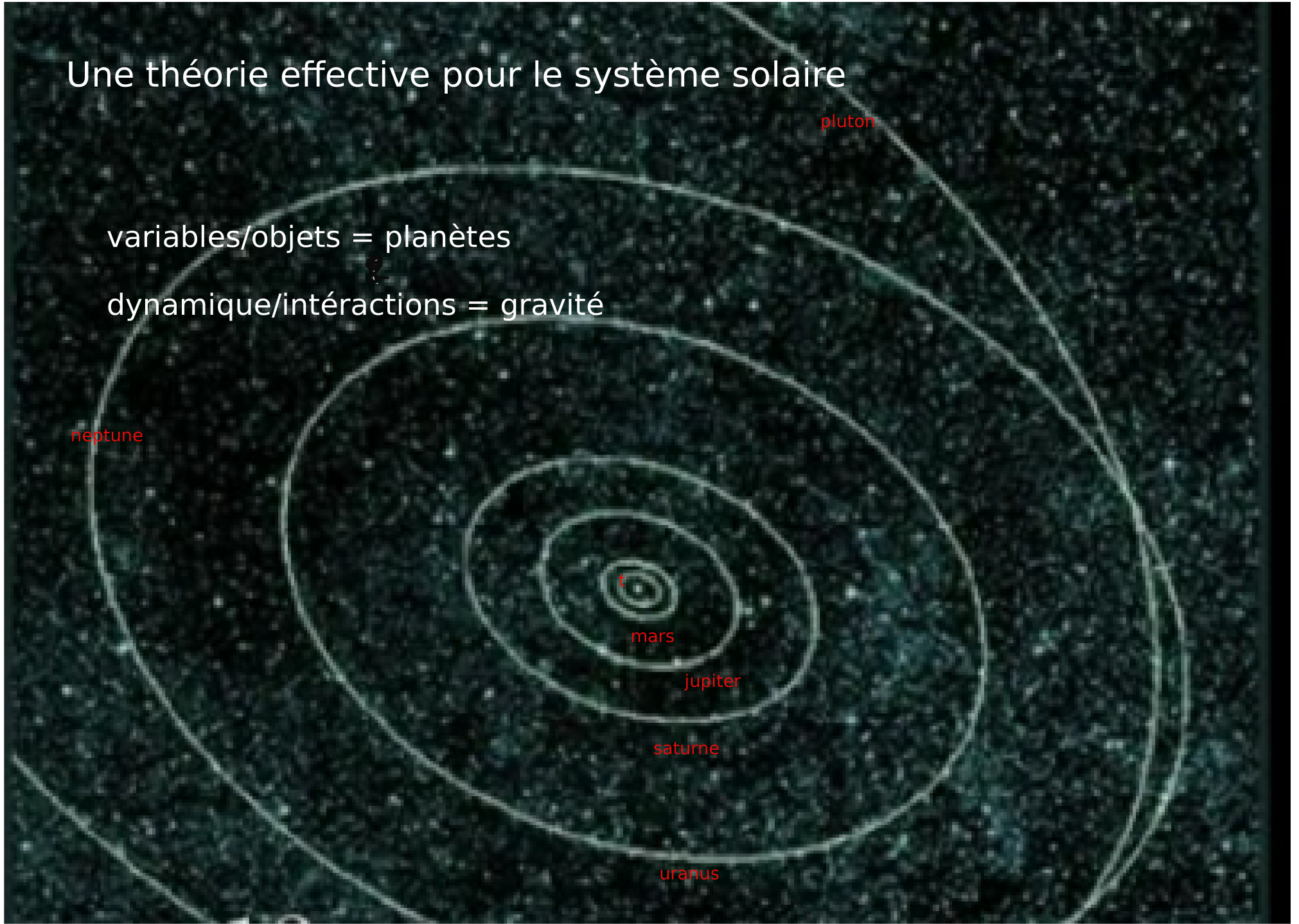
t

mars

jupiter

saturne

uranus



# Une théorie effective pour le système solaire

variables/objets = planètes

dynamique/intéractions = gravité

pas besoin de savoir que  
planètes sont fait d'atomes  
ni que système solaire est dans  
une galaxie

pluton

neptune

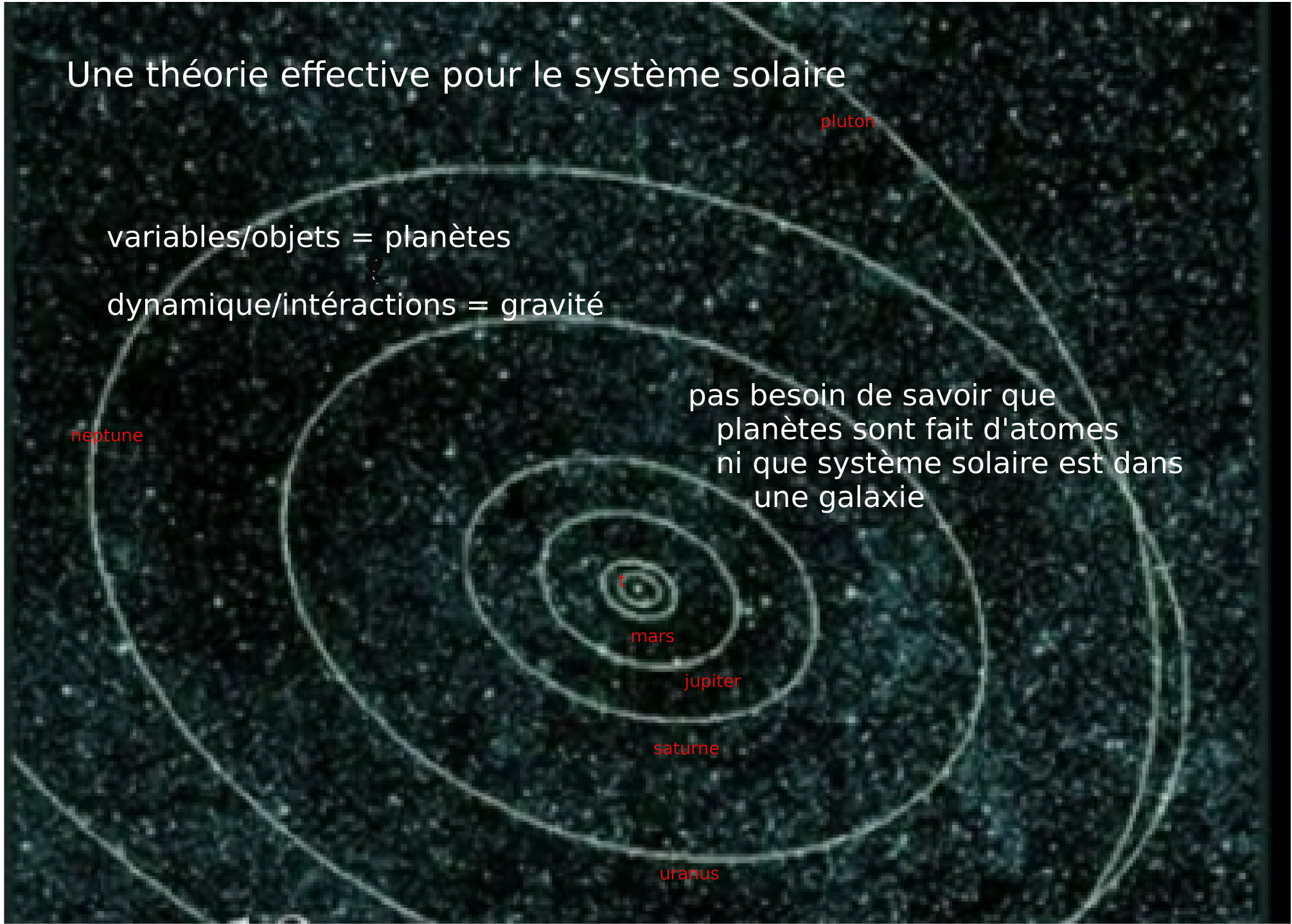
t

mars

jupiter

saturne

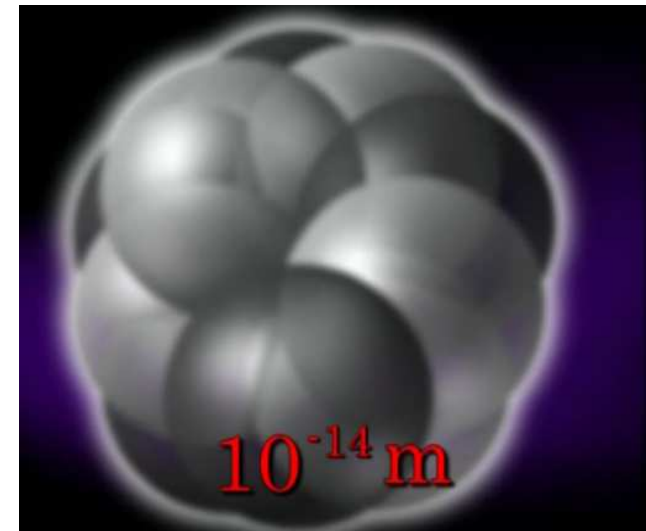
uranus



## Un exemple de théorie effective en physique des particules

physique nucléaire:

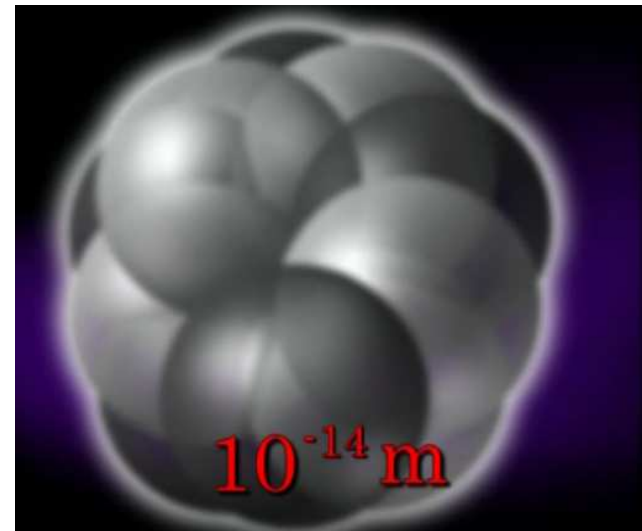
- noyau fait de  $\left\{ \begin{array}{l} \text{protons} \\ \text{neutrons} \end{array} \right\}$ , fait de quarks
- quarks interagissent en échangeant gluons
- impossible de calculer paramètres nucléaires avec ordinateurs actuelles :(



# Un exemple de théorie effective en physique des particules

physique nucléaire:

- noyau fait de  $\left\{ \begin{array}{l} \text{protons} \\ \text{neutrons} \end{array} \right\}$ , fait de quarks
- quarks interagissent en échangeant gluons
- impossible de calculer paramètres nucléaires avec ordinateurs actuelles :(



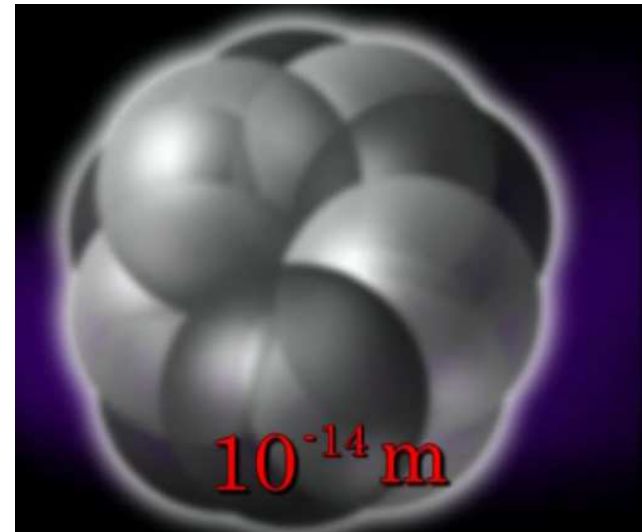
⇒ *interactions effectives entre neutrons/protons*

- approximer neutron/proton → ponctuelle
- certaines des règles d'interactions (symétries) entre quarks et gluons restent valables pour neutron/proton; les imposer  
⇒ permet de tester le Modèle Standard!

# Un exemple de théorie effective en physique des particules

physique nucléaire:

- noyau fait de  $\left\{ \begin{array}{l} \text{protons} \\ \text{neutrons} \end{array} \right\}$ , fait de quarks
- quarks interagissent en échangeant gluons
- impossible de calculer paramètres nucléaires avec ordinateurs actuelles :(



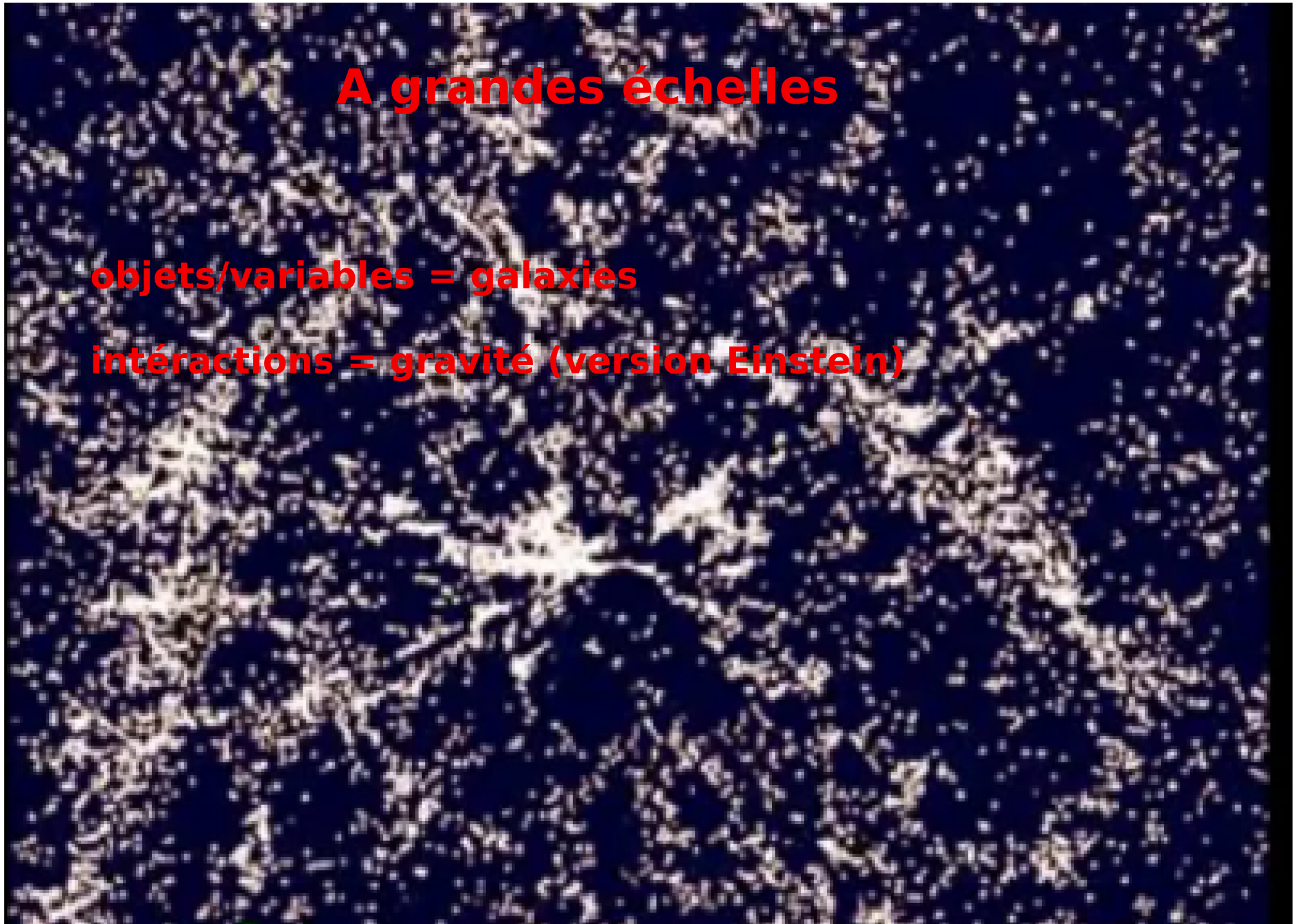
⇒ *interactions effectives entre neutrons/protons*

- approximer neutron/proton → ponctuelle
- certaines des règles d'interactions (symmétries) entre quarks et gluons restent valables pour neutron/proton; les imposer
  - ⇔ permet de tester le Modèle Standard!
- fixer ampleur des interactions effectives possibles à partir de données
- ...permet de prédire comportements nucléaires...

# A grandes échelles

**objets/variables = galaxies**

**interactions = gravité (version Einstein)**





# A grandes échelles

**objets/variables = galaxies**

**interactions = gravité (version Einstein)**

**...mais dynamique très très lente, à l'échelle de l'Univers**

**--> on observe aujourd'hui la distribution de galaxies...**

**.... on peut remonter le temps avec les Eqns d'Einstein**

**Puis croiser avec données sur autres fossiles cosmo.**



- 53 étudiants, la plupart doctorants, de tout les continents: Australie(2), Japon(2), Corée(2), Inde(2), Ukraine(2), EU (36), Canada(1), USA(4), Brésil(2), plusieurs font leur études dans un pays autre que le leur.
- 12 orateurs: 3 des Amériques, 1 du Japon, et 8 européens (ES,IT, CH,FR,DE,GB)
- 4 organisateurs: on vient du Canada, l'Italie, la Finlande et l'Allemagne; on travaille en France,Italie, Suisse et Allemagne.

