

## Fiche professeur

THEME du programme : Comprendre | Sous-thème : Modèle de l'atome et particules élémentaires

### Interactions fondamentales

Type d'activité : - Activité documentaire

Conditions de mise en œuvre : (découverte, environ 1h, cette activité peut être précédée d'une vidéo comme « L'expérience ATLAS », « C'est pas sorcier : voyage au cœur de la matière 2 » ou « l'aventure des particules » dont le nom anglais est « what's the world made of ? »)

Pré-requis : - Connaissance du modèle de l'atome (seconde)  
- Interaction gravitationnelle (seconde)  
- Interaction électrostatique (collège)

NOTIONS ET CONTENUS	COMPETENCES ATTENDUES
Interactions fondamentales : interactions forte et faible, électromagnétique, gravitationnelle.	Associer, à chaque édifice organisé, la ou les interactions fondamentales prédominantes.

**Compétences transversales** : (préambule du programme et socle commun)

- mobiliser ses connaissances
- rechercher, extraire, organiser des informations utiles
- formuler des hypothèses

Mots clés de recherche : interaction, particules élémentaires, gravitationnelle, électromagnétique, forte, faible

Provenance : Académie d'Orléans-Tours

Adresse du site académique : <http://physique.ac-orleans-tours.fr/php5/site/>

## Les interactions fondamentales

### DOC 1

« Une théorie de tout, qu'est-ce à dire ? S'agirait-il d'une théorie qui expliquerait la totalité des choses, des coquelicots sauvages aux étoiles géantes ? Et, le cas échéant, n'y aurait-il pas lieu de s'étonner que la science nourrisse des prétentions aussi démesurées ? L'idée d'une théorie de tout est à la fois récente et sans âge. Quitte à trahir l'Histoire en cherchant dans le passé un hypothétique point de départ en fonction du point où nous voulons arriver, on peut en repérer les prémices dans l'hypothèse de la gravitation universelle d'Isaac Newton. Cette loi propose en effet un cadre explicatif commun à deux catégories de phénomènes naturels, à savoir les mouvements des astres et la chute des corps terrestres. Deux siècles plus tard, James Clerk Maxwell, à son tour rassemble sous un même formalisme la description de phénomènes apparemment aussi divers que l'électricité, le magnétisme et la lumière. Ces unifications, qui conduisent à montrer que des effets en apparence distincts ne sont en fait que des aspects divers d'un principe unique sous-jacent, figurent parmi les succès les plus impressionnants de la science. L'idée d'une théorie de tout (fondre en un seul bloc la somme totale de ce qui est connu) participe de cette marche générale de la science vers l'unité, mais elle n'a véritablement pris corps que vers le milieu de notre siècle.

La physique contemporaine reconnaît quatre interactions fondamentales : l'interaction électromagnétique, responsable de la cohésion de la matière à notre échelle, l'interaction gravitationnelle, qui régit le ballet des astres, l'interaction nucléaire forte, responsable de la cohésion des noyaux atomiques, et l'interaction nucléaire faible, responsable de certains processus radioactifs. Dans les années 60, trois théoriciens, Sheldon Glashow, Abdus Salam et Steven Weinberg ont proposé une théorie unifiée des interactions nucléaire faible et électromagnétique, qui a fait l'objet d'éclatantes confirmations expérimentales. Ainsi se sont esquissés les traits d'une théorie qui ramènerait la description de tous les phénomènes physiques à un formalisme unique. L'étape suivante, à savoir l'unification des interactions électrofaible et forte, a conduit à une théorie baptisée électronucléaire [*ou modèle standard*] dont les prédictions n'ont fait l'objet d'aucun résultat concluant. Quand à la synthèse ultime, l'unification de la gravitation et de la force électronucléaire, elle reste à faire, et rien ne dit que la piste de la théorie des cordes permette d'achever ce programme. Si la « théorie de tout » - entendons une théorie unifiée des quatre forces fondamentales - repose à l'évidence sur la croyance en un fondement unique de toutes les connaissances en physique, elle ne présuppose pas pour autant que toute réalité, à quelque échelle que ce soit, se réduise ultimement à des constituants élémentaires. Comme le dirait le Faust de Goethe, nous aurons beau avoir réduit toute la physique à une sorte d'équation primordiale, nous ne serons « pas plus proches de l'infini ».

Laurent Mayet extrait du Journal « sciences et avenir » Hors série N° 118 de Mai Juin 1999

## DOC2

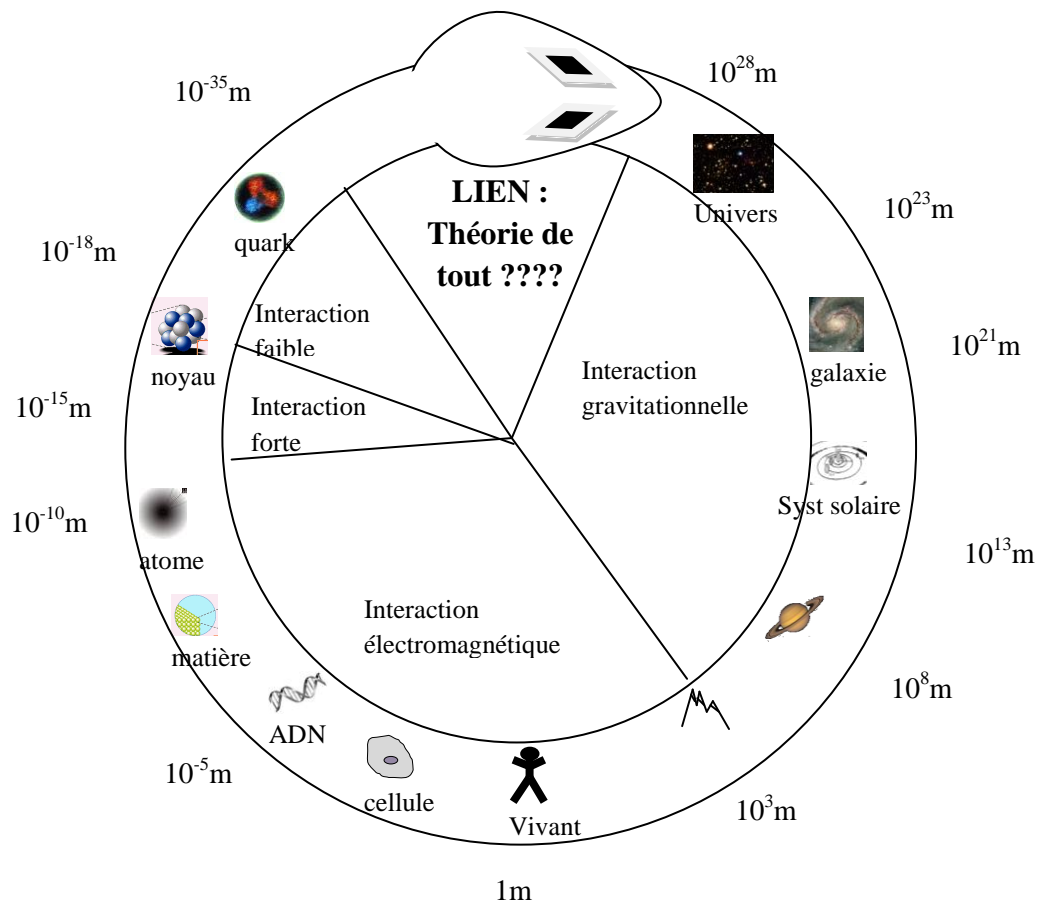
Quatre particules élémentaires de la matière et quelques caractéristiques :

	Quark up	Quark down	Electron	neutrino
charge	$2/3.e$	$-1/3.e$	$-e$	0
masse	Indéterminée car jamais isolé	Indéterminée car jamais isolé	$9,11.10^{-31}$ kg	0 ou très faible ?
Constituant de	Protons et neutrons	Protons et neutrons	atome	

## DOC 3

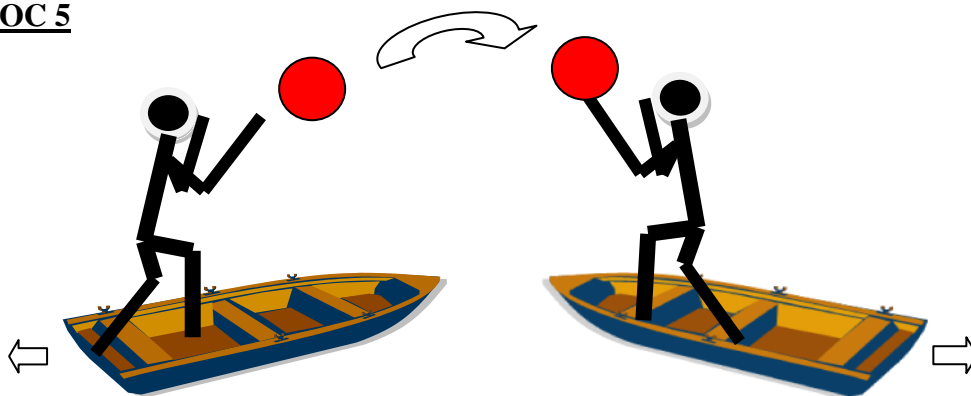
Interaction	particules concernées	Propriété	Portée	Exemple de Loi	Particule messagère	Intensité relative à l'échelle des particules élémentaires
gravitationnelle	Toute particule massique	Attractive	Infinie mais décroissante avec la distance	$F = g \frac{m_a m_b}{d^2}$	Graviton? Masse nulle	$10^{-38}$
Electro magnétique	Toute particule chargée	Attractive ou répulsive	Infinie mais décroissante avec la distance	Ex : force électrostatique de coulomb $F = K \frac{q_a q_b}{d^2}$	Photon Masse nulle	$10^{-2}$
Forte	Nucléons Quarks	Attractive	$10^{-15}$ m Augmente avec la distance		Gluon Masse nulle	1
Faible	Quark Electron Neutrino	Attractive ou répulsive	$10^{-18}$ m		Boson Masse non nulle	$10^{-7}$

**DOC 4**



Le serpent de Glashow

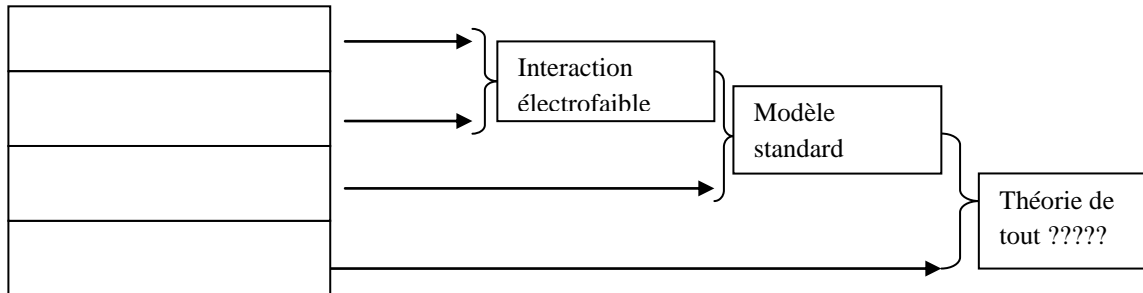
**DOC 5**



Le schéma ci-dessus est une analogie qui montre comment deux corps peuvent interagir à distance par échange d'une « particule messagère » ( ici interaction répulsive). Plus le ballon est lourd, plus il est difficile de lancer loin et donc plus les barques doivent être proches.

## QUESTIONS:

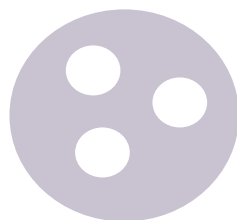
1. La physique contemporaine a défini quatre interactions fondamentales à l'origine de tous les phénomènes physiques connus. Les citer.
2. Placer dans l'arborescence suivante les quatre interactions fondamentales.



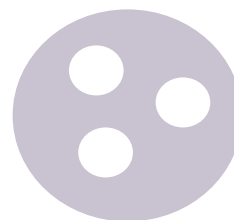
3. Pourquoi vouloir chercher une théorie de tout ?
4. Qu'attend-on d'une théorie ? (deux réponses obligatoires).

En quoi le « Modèle Standard » ne constitue pas encore un modèle satisfaisant ?

5. Sachant que le proton et le neutron sont des particules constituées chacune de 3 quarks et connaissant leurs caractéristiques, déterminer de quelle combinaison de quarks (u et d) ils sont formés. Schématiser la situation en plaçant les lettres u et d dans les espaces blancs ci-dessous.



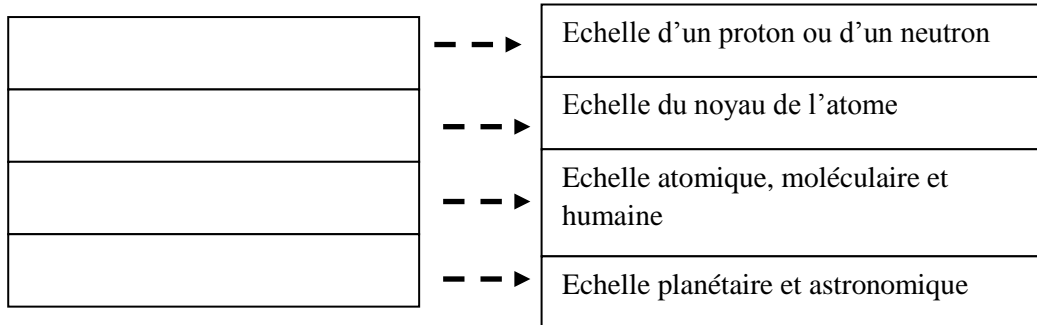
Proton



Neutron

6. Les forces électromagnétique et gravitationnelle ont une portée illimitée contrairement aux interactions faible et forte. Préciser ce qui, dans les documents, permet de l'affirmer.
7. Les quatre interactions peuvent-elles se superposer? Pourquoi donne-t-on à chacune un domaine d'action ?

8. Relier chaque interaction à son domaine d'action.



9. Pourquoi, à votre avis, l'interaction gravitationnelle domine-t-elle à grande échelle ?

10. Dans chaque phénomène physique, on peut reconnaître l'une des quatre interactions fondamentales, relier chaque phénomène à l'interaction qui lui correspond.

Chute des corps
Transformations chimiques
Lumière
Mouvement des planètes
Poussée d'Archimède
Codage et traitement des données informatiques
Radioactivité $\alpha$ (fission de noyau)
Eclairs d'orage
Radioactivité $\beta$ (transformation d'un proton en neutron ou l'inverse)
Ondes radio
Boussole
Marées
Tension d'un fil

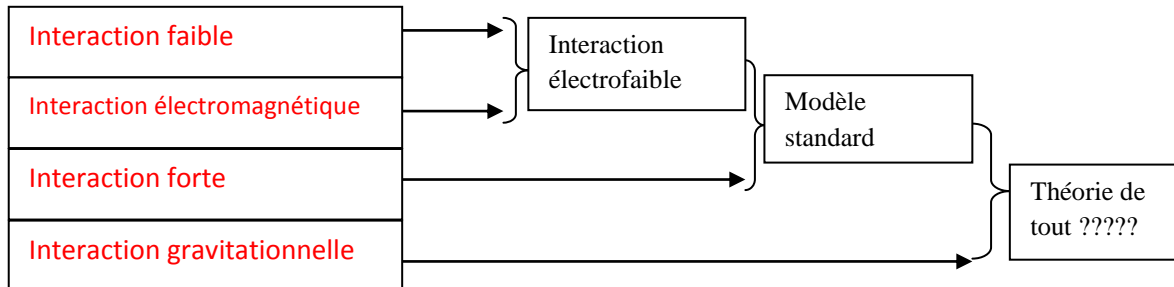
Interaction .....
Interaction .....
Interaction .....
Interaction .....

## REPONSES:

1. La physique contemporaine a défini quatre interactions fondamentales à l'origine de tous les phénomènes physiques connus. Les citer.

Interaction faible, forte, interaction électromagnétique et interaction gravitationnelle

2. Placer dans l'arborescence suivante les quatre interactions fondamentales.



3. Pourquoi vouloir chercher une théorie de tout ?

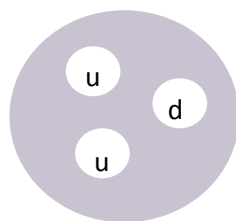
Une théorie de « Tout », qui « ramènerait la description de tous les phénomènes à un formalisme unique » est recherchée dans un souci de simplification et de compréhension globale des phénomènes.

4. Qu'attend-on d'une théorie ? (deux réponses obligatoires)

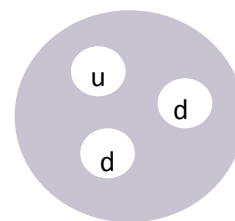
- qu'elle décrive des phénomènes par des lois et modèles
- qu'elle prédise de nouveaux phénomènes

En quoi le « Modèle Standard » ne constitue pas encore un modèle satisfaisant ?  
Il n'est pas un modèle satisfaisant car ses prédictions ne sont pas satisfaisantes (elles ne se sont pas révélées justes)

5. Sachant que le proton et le neutron sont des particules constituées chacune de 3 quarks et connaissant leurs caractéristiques, déterminer de quelle combinaison de quarks (u et d) ils sont formés. Schématiser la situation en plaçant les lettres u et d dans les espaces blancs ci-dessous.



Proton



Neutron

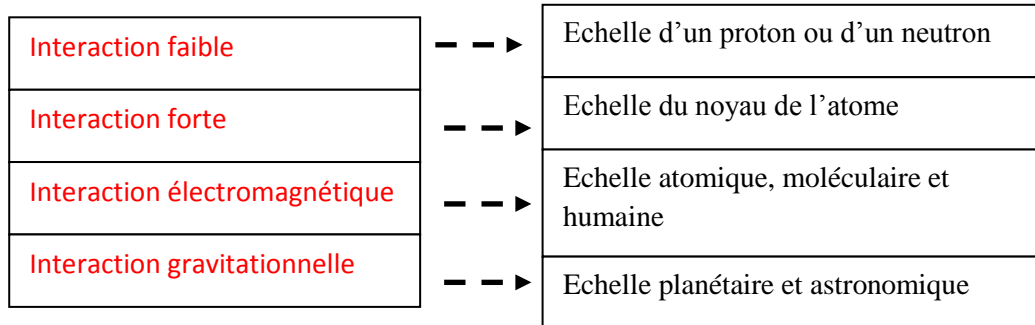
6. Les forces électromagnétique et gravitationnelle ont une portée illimitée contrairement aux interactions faible et forte. Préciser ce qui, dans les documents, permet de l'affirmer.

On voit dans le doc3 que les deux forces (gravitationnelle et électrostatique) suivent une loi de décroissance en  $1/r^2$ .  $1/r^2$  n'est jamais nulle bien qu'elle tende vers une limite nulle donc la portée de la force correspondante est illimitée.

7. Les quatre interactions peuvent-elles se superposer? Pourquoi donne-t-on à chacune un domaine d'action ?

Oui les quatre interactions peuvent se superposer, elles se cumulent ou se compensent. Cependant, chacune de ces interaction est prépondérante/ aux autres à une certaine échelle.(cf doc 3 l'interaction forte est prépondérante à l'échelle des nucléons)

8. Relier chaque interaction à son domaine d'action.



9. Pourquoi, à votre avis, l'interaction gravitationnelle domine-t-elle à grande échelle ?

Elle domine car elle est toujours attractive donc elle est cumulative à grande échelle.

10. Dans chaque phénomène physique, on peut reconnaître l'une des quatre interactions fondamentales, relier chaque phénomène à l'interaction qui lui correspond.

