

La saga des particules : êtes-vous sûr de ne pas avoir manqué un épisode ?!

Questionnaire sur le film documentaire *Particle Fever*

Classes de collège-lycée

Ce document peut-être utilisé en classe à la suite de la projection du film Particle Fever et en complément de la visite de l'exposition Le Grand Colisionneur LHC.



Département éducation-formation
Avenue Franklin Roosevelt
75008 Paris
palais-decouverte.fr



Particle Fever

La Fièvre des particules

Documentaire réalisé en 2013 par Mark Levinson

Durée **99 min.**

Date de sortie en salle: 05 novembre 2014

DVD en version originale sous-titrée français distribué par Jupiter Communication, disponible à l'adresse :

<http://www.jupiter-films.com> au prix de 22€



Le film documentaire **Particle Fever** est un long métrage qui retrace avant tout une histoire profondément humaine. Au travers le projet pharaonique du CERN, le spectateur est invité à suivre le quotidien de six physiciens venus des quatre coins du monde qui ont travaillé de concert à la recherche du fameux boson de Higgs.

Le film a pour objectif défini d'éveiller la curiosité de **tous les publics**, même non-initiés. Les contenus abordés dans le film viennent **approfondir** ce que les élèves auront découvert au cours de la visite de l'exposition en apportant une vision complémentaire, moins axée sur la technologie de l'accélérateur proprement dite mais plutôt sur la **dimension humaine** et sur les **enjeux de la recherche fondamentale**.

Les thèmes soulevés par cette expérience sont particulièrement intéressants: les origines de l'Univers font partie intégrante du programme de seconde ; les enseignements dispensés en première S trouveront un écho pertinent par le biais des interactions fondamentales; en terminale S le chapitre "Ondes et particules" est tout particulièrement adapté au sujet qu'aborde le film. Plus globalement, les nouveaux programmes du lycée s'axent autour de deux piliers essentiels : « Observer » et « Comprendre », or qu'y a-t-il de plus approprié pour illustrer ces enjeux phares que la plus grande expérience jamais menée en physique fondamentale?

Les élèves sauront-ils à l'issue du film ce qu'est la supersymétrie? Il ne faut certainement pas y compter, mais ils auront participé le temps de la projection à une aventure captivante qui repousse les limites de l'inventivité humaine.

Tout le monde n'a pas le bonheur de parler chinois dans sa propre langue.

Jacques Lacan

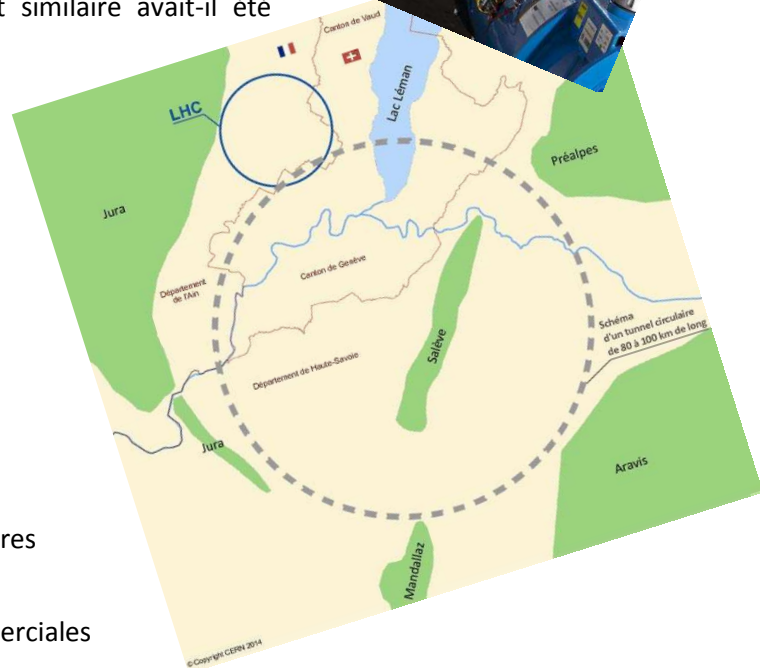
1. A travers le projet du LHC, les scientifiques ont cherché à en apprendre davantage sur...

- Les nouveaux matériaux
- Les voyages interstellaires
- La structure de la matière
- Les origines de l'Univers



2. Dans quelle région du monde un projet similaire avait-il été entrepris ?

- En Russie
- Au Texas
- Au pôle Nord



3. Le LHC a été construit dans le but...

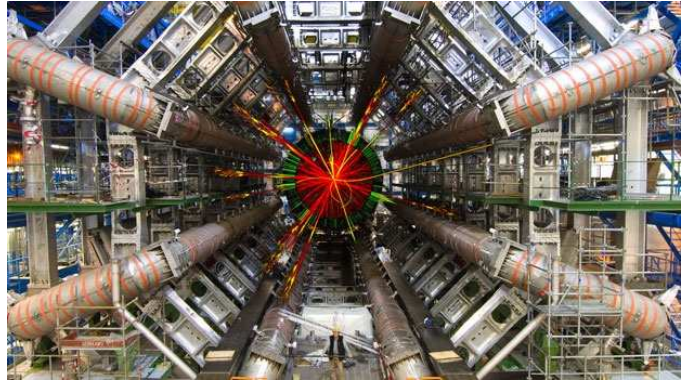
- ... de développer des applications militaires
- ... de développer des applications commerciales
- ... de progresser dans le domaine de la recherche fondamentale

4. Qu'ont observé les scientifiques sur l'écran lors de la première expérience?

- Ils ont observé la fusion de particules
- Ils ont observé la collision de particules

5. De quelles particules s'agit-il ?

- D'électrons
- De protons
- De neutrons



6. Pourquoi le LHC est-il si étendu ?

- Pour pouvoir y faire travailler un grand nombre de scientifiques
- Pour que les particules à l'intérieur du LHC soient en assez grand nombre
- Pour pouvoir accélérer les particules à des vitesses colossales avant leurs collisions

7. Quelle est la différence entre les théoriciens et les expérimentalistes? Qu'ont-ils en commun?

***“Without us, the experimentalists are in the dark.
But without them, we'll never know the truth.”***

David Kaplan, theoretical physicist, Johns Hopkins University

8. Pourquoi le boson de Higgs est-il appelé « Particule Dieu » ?

“Once you have curiosity, you can't control it.”

Savas Dimopoulos

9. Comment nomme-t-on la particule de Higgs ?

- La particule X
- La particule Y
- La particule Z

10. Que confère le boson de Higgs aux autres particules ?

Une charge électrique

Une vitesse

Une masse

11. Dans le cadre de vastes projets comme avec le LHC, les retombées économiques sont souvent d'une telle ampleur qu'elles justifient l'investissement initial. Les profits sont-ils les seuls enjeux d'un projet scientifique ? Que doit-on prendre en compte ?

“Basic science for big breakthroughs needs to occur at a level where you are not asking what is the economic gain, you’re asking what do we not know and where can we make progress.”

David Kaplan, theoretical physicist, Johns Hopkins University

12. Pensez-vous que les politiciens qui ont mis un terme au projet du Super Collider regrettent leur décision après le succès du LHC de Genève?

“Why do humans do science? Why do they do art? The things that are least important for our survival are the very things that make us human.”

Savas Dimopoulos

“When you are dealing with something that is a long-term project, and LHC is a long-term project, it’s a 20-year project, you can’t think about the end, ever.”

Monica Dunford



Le coin des secondes...

- a) Si vous en avez déjà entendu parler, citez une expérience historique (autre que celles menées au LHC) qui a permis d'en apprendre davantage sur la structure de la matière.

- b) Quelles sont les trois particules qui constituent l'atome ?

- c) Dans le LHC laquelle de ces particules est accélérée? _____

- d) Dans l'expérience menée par Rutherford, quelles particules bombardent la feuille d'or ?

- Des protons, comme dans le LHC
- Des noyaux d'hélium (particules α)
- Des neutrons comme dans les réacteurs nucléaires

- e) Cette expérience a permis de mettre en évidence...

- L'existence d'électrons au sein de l'atome
- L'existence d'un noyau chargé positivement au centre de l'atome
- L'électroneutralité de l'atome

- f) Dans le LHC, les particules sont accélérées à des vitesses proches de celle de la lumière. Donner la valeur de la célérité de la lumière en écriture scientifique (3 chiffres significatifs).

Donnée : célérité de la lumière dans le vide $c = 299\,792\,458\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

- g) Tous les protons accélérés au CERN sont obtenus à partir de dihydrogène standard. Bien que les faisceaux du LHC contiennent de très nombreux protons, seuls 2 ng de dihydrogène sont accélérés chaque jour. Il faudrait donc 1 million d'années pour accélérer un gramme de dihydrogène avec le LHC.

1. Calculer la quantité de matière correspondant aux 2 ng de dihydrogène.

2. Calculer la quantité de protons que l'on peut obtenir à partir des 2ng de dihydrogène.

Le coin des premières...

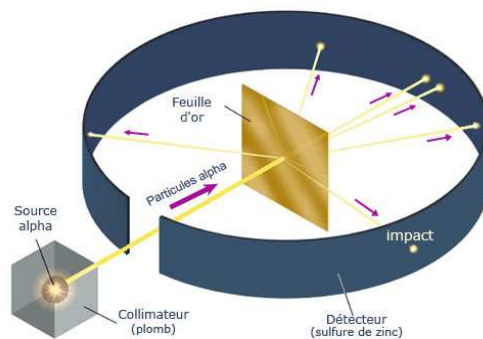
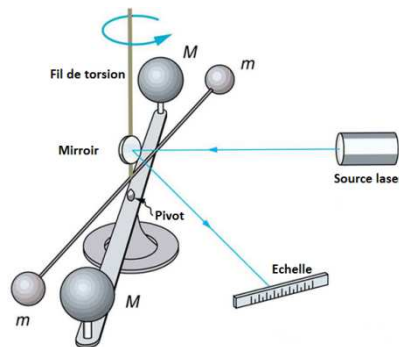
a) Quelles sont les trois interactions fondamentales que vous connaissez ?

A quelle échelle expliquent-elles la cohésion de la matière ? Reliez chaque échelle à l'interaction qui y est prédominante.

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| • A l'échelle du noyau de l'atome | • L'interaction gravitationnelle |
| • A l'échelle cosmique | • L'interaction forte |
| • A l'échelle moléculaire | • L'interaction électromagnétique |

b) Dans le LHC, quelle interaction fondamentale peut-on négliger ?

c) Attribuez chacune de ces célèbres expériences à l'interaction fondamentale sur laquelle elle repose.



Expérience de Cavendish → Interaction _____ .

Expérience de Rutherford → Interaction _____ .

- d) Dans le LHC, lorsque les protons accélérés entrent en collision, ils atteignent des énergies de l'ordre de 7 TeV. Que signifie le préfixe T? A quelle puissance de 10 correspond-t-il ?

- e) Convertissez cette énergie en Joules (J) puis en mégajoules (MJ) sachant que 1 eV vaut : $1,602 \cdot 10^{-19}$ J.

« L'énergie totale de chaque faisceau est d'environ 350 MJ, ce qui correspond à l'énergie d'un train de 400 tonnes, comme le TGV, lancé à 150 km/h. Une telle énergie suffit à faire fondre environ 500 kg de cuivre. L'énergie totale stockée dans les aimants du LHC est quelque 30 fois plus élevée. »

- f) A quelle forme d'énergie concernant le TGV fait allusion ce texte?

- g) La correspondance « énergie d'un faisceau-énergie du TGV » annoncée est-elle vraie ?

La température de fusion du métal cuivre vaut $T_f = 1084^\circ\text{C}$. Pour atteindre la température de fusion de ce métal, il faut fournir $385 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$. Une fois cette température atteinte, il faut fournir 205 J/g de métal.

- h) A quelle température en Kelvin correspond la température de fusion du cuivre?

- i) Fera-t-on fondre les 500 kg de cuivre pris à 20°C avec environ 350 MJ ?

- j) Le fonctionnement du LHC est de 270 jours annuels, 24 heures sur 24 (il s'arrête l'hiver) ; sa puissance consommée est de 120 MW. Cette puissance correspond environ à celle consommée par l'ensemble des ménages du canton de Genève.

1. Calculer l'énergie consommée par le LHC annuellement en kWh puis en joules.

2. Justifier la deuxième phrase.

Données : le canton de Genève compte environ 430 000 habitants qui consomment, en moyenne et annuellement, 2 MWh.

Le coin des terminales...

- a) Le LHC est un accélérateur de particules et un collisionneur... parmi les particules suivantes lesquelles peut-on accélérer?

Proton

Neutron

Electron

- b) ATLAS, CMS, ALICE sont quelques-uns des détecteurs de particules que possède le LHC. Quelles particules identifient les détecteurs suivants?

- Electroscopie : _____

- Compteur Geiger _____

- Détecteur à scintillation _____

- c) Dans le LHC, à quelle période de l'Univers l'observation du boson de Higgs nous ramène-t-elle?

- d) Dans le cadre de la mécanique dite relativiste, l'énergie cinétique d'un proton vaut :

$$E_c = (\gamma - 1)m_p \cdot c^2$$

où γ est le facteur de Lorentz et vaut :

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Si la vitesse v d'un proton dans le référentiel du laboratoire tend vers la célérité de la lumière, vers quelle limite tend son énergie cinétique ?

- e) On peut lire dans le guide du LHC « *Les données enregistrées par chacune des grandes expériences du LHC rempliront l'équivalent de 100 000 DVD double couche chaque année* ».

On trouve également les informations suivantes : *Les expériences LHC comptent environ 150 millions de capteurs qui enregistrent 40 millions de données par seconde. Le flux de données provenant des quatre expériences s'élèvera à environ 700 mégaoctets par seconde (Mo/s), soit environ 15 000 000 Go par an – l'équivalent d'une pile de CD-ROM haute de 20 km.*

On donne :

- **hauteur d'une pile de 100 CD-ROM : 9 cm**
- **capacité de stockage d'un CD-ROM : 700 000 000 octets**
- **durée de fonctionnement des expériences : 270 jours par an.**

1. Quel est le nombre de données enregistrées par seconde ?

2. Retrouver la quantité d'informations, exprimée en octets, qui est stockée chaque année.

3. Cela correspond-il bien à une pile de CD-ROM de 20 km de haut ?

- f) Dans les accélérateurs de particules du CERN, de plusieurs kilomètres de circonférence, on communique à des muons la vitesse $v = 0,9994 c$. Les scientifiques ont ainsi mesuré, à l'aide d'horloges atomiques, que les muons accélérés « vivent » $63,6 \mu s$ et non plus $2,2 \mu s$: *ce résultat expérimental constitue une mise en évidence indiscutable de la prévision d'Einstein concernant le temps.*

1. Quelle est la prévision d'Einstein, concernant le temps, mise en évidence expérimentalement au CERN ?

2. Quelle condition expérimentale permet cette mise en évidence ? Comment est-elle obtenue ?

3. Quels sont les deux évènements considérés ici?

4. En déduire le référentiel propre et la durée de vie propre d'un muon Δ_{tp} .

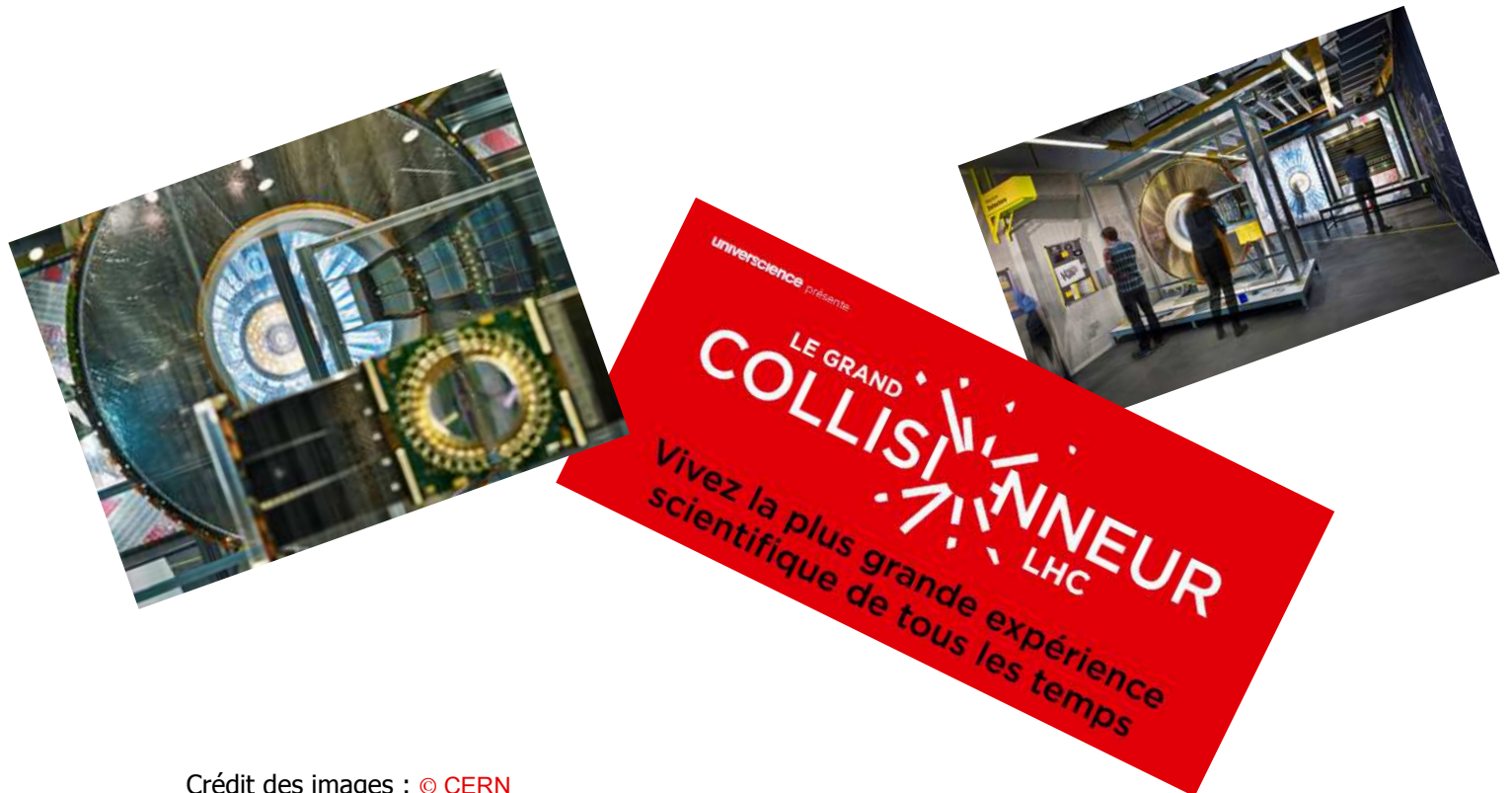
5. Quelle est sa durée mesurée Δ_{tm} ?

6. Quel instrument de mesure permet une mesure précise de ces durées ?

7. Dans le cas du muon, à quoi est égal le coefficient qui relie durée propre et durée mesurée ?

8. Vérifier la valeur de ce coefficient pour la vitesse atteinte par un muon dans un accélérateur de particules du CERN.

9. Quelle doit être au moins la longueur de l'accélérateur pour déterminer la durée mesurée Δ_{tm} ?



Crédit des images : © CERN