

### Rayonnement cosmique

#### Préambule

Extrait du programme d'enseignement spécifique de physique-chimie de la série scientifique en classe terminale ([Bulletin officiel spécial n°8 du 13 octobre 2011](#))

#### Temps, mouvement et évolution

Notions et contenus	Compétences exigibles
<b>Temps et relativité restreinte</b> [...] Notion d'événement. Temps propre. Dilatation des durées. Preuves expérimentales.	[...] Définir la notion de temps propre. Exploiter la relation entre durée propre et durée mesurée. Extraire et exploiter des informations relatives à une situation concrète où le caractère relatif du temps est à prendre en compte.

#### 1. Le principe

Il s'agit d'analyser l'expérience de Frisch et Smith, illustrant expérimentalement le phénomène de dilatation du temps

#### Mots clefs :

relativité, muons, temps propre

#### Compétences abordées

Cette activité permet d'évaluer les compétences suivantes :

Compétences attendues :				
1 – non maîtrisées				
2 – insuffisamment maîtrisées				
3 – maîtrisées				
4 – bien maîtrisées	1	2	3	4
Compétences générales :				
Rechercher, extraire et exploiter l'information				
Raisonner, argumenter et faire preuve d'esprit critique				
Compétences expérimentales :				
Analyser les phénomènes, protocoles et résultats				

## 2. Principe de l'expérience de D.Frisch et J.Smith (1963)

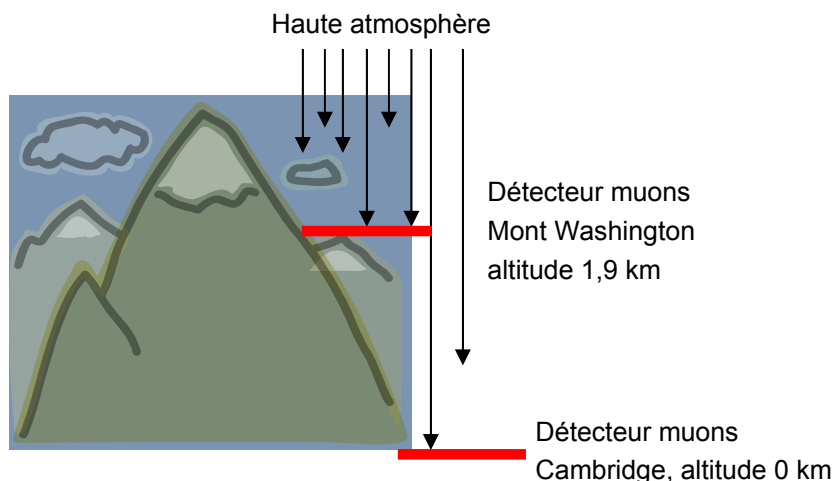
### Document 1

En 1963, David H. Frisch et James H. Smith ont réalisé une série de mesures à l'aide d'un détecteur de muons en deux lieux différents de la surface terrestre.

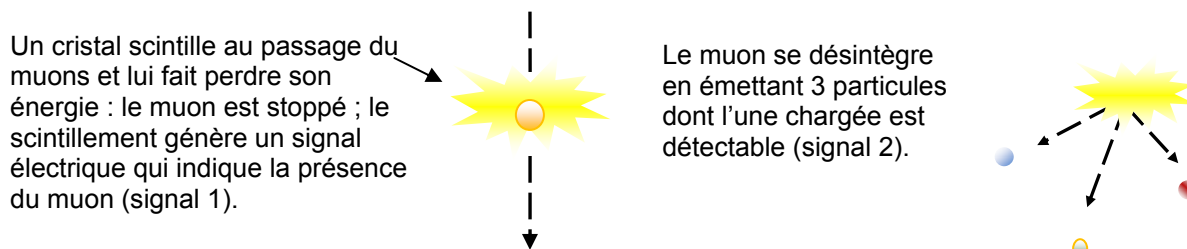
Le premier lieu, le mont Washington, altitude 1,9 km. Le second, Cambridge, altitude 3 m au-dessus du niveau de la mer.

L'expérience consistait sur les deux sites :

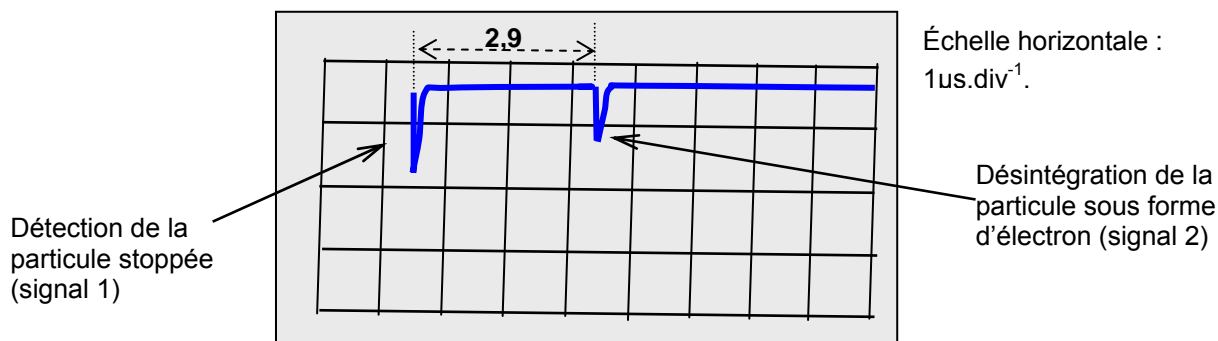
- à comptabiliser le nombre de muons entrant dans le détecteur pendant une heure en deux endroits d'altitude différente ;
- à déterminer la durée de vie de chaque particule.



Le détecteur, conçu pour n'être sensible qu'aux particules de vitesse comprise entre 99,50 % et 99,54 % de celle de la lumière (soit entre  $2,983 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$  et  $2,984 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ ), fonctionnait sur le principe simplifié suivant :



La durée entre les deux signaux est mesurée sur l'écran d'un oscilloscope :



Source: D.H. Frisch et J.H. Smith, "Measurement of the Relativistic Time Dilatation Using  $\mu$  Mesons", *AJP* 31,342 (1963)

À partir de l'oscillogramme ci-dessus et en supposant qu'il est caractéristique des événements qui se produisent, évaluer la durée de vie propre de la particule au repos détectée.

### 3. Résultats de l'expérience de D.Frisch et J.Smith

#### Document 2

Nombre de muons comptabilisés sur 1 heure :

- Au Mont Washington : 568
- À Cambridge : 412

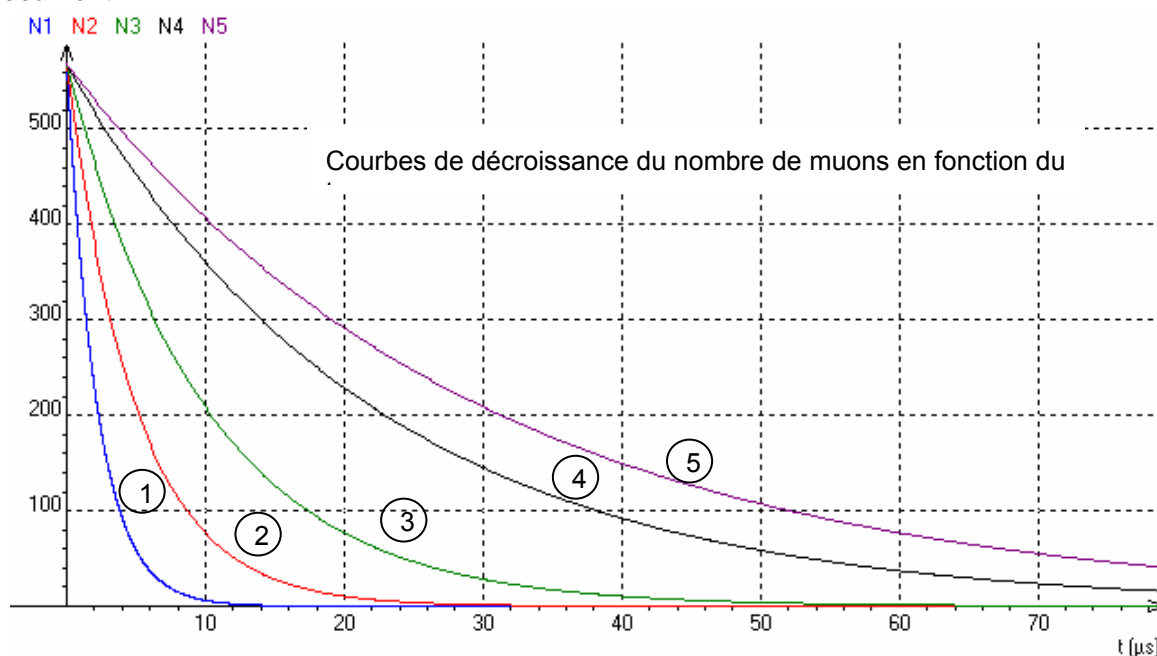
#### Document 3

Au cours de l'expérience, on observe la désintégration de 568 muons au total. On mesure la durée de vie de chacun de ces 568 muons. Le tableau suivant comptabilise le nombre de muons qui subsistent parmi cette population à chaque date. Les résultats ont été obtenus sur le site du Mont Washington.

Nombre de muons subsistants	568	364	230	145	95	62	36	19	13
Date en $\mu\text{s}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8

Remarque : les résultats obtenus dans l'expérience de D.H.Frisch et J.H.Smith avait déjà été obtenus en 1941 (B.Rossi et D.B. Hall) puis confirmés par la suite par une équipe du CERN en 1977 (J.Bailey)

#### Document 4



La courbe 1 est la courbe de décroissance expérimentale obtenue à partir des mesures au Mont Washington (doc 3) qui correspondent à une durée de vie propre de  $2,2 \mu\text{s}$

Les courbes 2, 3, 4 et 5 ont été obtenues par simulation numérique en utilisant le même modèle de décroissance que celui de la courbe expérimentale mais en faisant varier la durée caractéristique :

- pour la courbe 2, la durée caractéristique est de  $5,0 \mu\text{s}$
- pour la courbe 3, la durée caractéristique est de  $10,0 \mu\text{s}$
- pour la courbe 4, la durée caractéristique est de  $22,0 \mu\text{s}$
- pour la courbe 5, la durée caractéristique est de  $30,0 \mu\text{s}$

1. En utilisant la théorie newtonienne, déterminer la durée qui serait nécessaire à un corps matériel quelconque, pour franchir les 1,9 km séparant le Mont Washington du niveau de la mer (Cambridge) à une vitesse égale à 99,54 % de celle de la lumière.

2. Sur le nombre total de muons comptabilisés en 1h au Mont Washington, combien d'entre eux ne se sont pas désintégrés au cours de la durée calculée précédemment d'après les résultats obtenus au document 3 ?

3. Parmi les courbes de désintégration du document 4, quelle est celle qui permet de retrouver une diminution du nombre de muons entre le Mont Washington et Cambridge (niveau de la mer), cohérente avec le document 2, pour la durée calculée précédemment ?

## 4. L'expérience de D.Frisch et J.Smith analysée avec la théorie de la relativité

---

Dans la théorie de la relativité d'Albert Einstein le temps est une notion relative. Il s'écoule différemment suivant le référentiel dans lequel il est mesuré.

Notons A un référentiel terrestre et B un référentiel en mouvement rectiligne et uniforme par rapport à A dans lequel les muons sont immobiles.

La durée de vie propre des muons mesurée par un observateur de B ( $\Delta t_p$ ) et la durée de vie propre des muons ( $\Delta t$ ) mesurée par un des observateurs de A sont reliés par la relation :

$$\Delta t = \Delta t_p \times \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Avec :  $v$  : vitesse du référentiel A par rapport à B

$c$  : célérité de la lumière dans le vide ( $2,99792458 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ )

**A partir de la relation ci-dessus et en utilisant les résultats expérimentaux de l'expérience de Frisch et Smith, en déduire que la durée de vie caractéristique dans le laboratoire est de l'ordre de 22  $\mu\text{s}$ .**