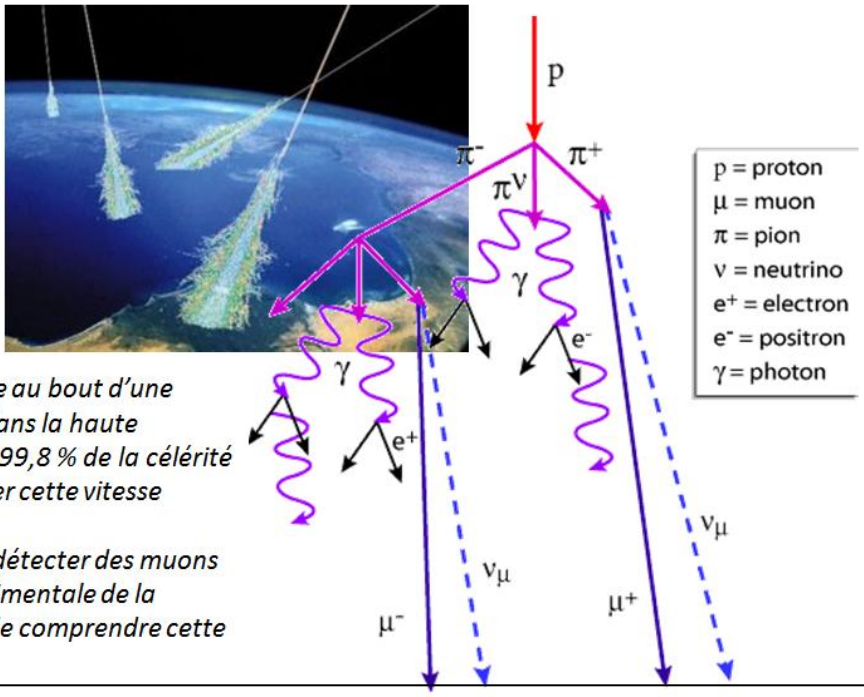
TS — comprendre RELATIVITE

# 3- MUONS & GPS

## I – MUONS

*Le muon est une particule qui porte la même charge électrique que l'électron, mais avec une masse 207 fois plus grande, c'est pourquoi on l'appelle aussi électron lourd.*
*Les muons sont produits par l'interaction entre les rayons cosmiques émis par le Soleil et la haute atmosphère de la Terre, à une altitude d'environ 10 km.*




*Un muon au repos se désintègre en moyenne au bout d'une durée de valeur t = 2,2 µs. Les muons émis dans la haute atmosphère le sont avec une vitesse égale à 99,8 % de la célérité de la lumière dans le vide. On peut considérer cette vitesse comme constante.*
*On considère souvent que le fait de pouvoir détecter des muons à la surface de la Terre est une preuve expérimentale de la dilatation des durées. Cette partie propose de comprendre cette affirmation.*

1) Calculer la distance parcourue par un muon pendant 2,2 µs.
2) Pourquoi le fait que des muons parviennent à la surface de la Terre est-il une preuve expérimentale de la dilatation des durées ?
3) En tenant compte de la dilatation des durées, calculer la distance que parcourt, en moyenne, un muon, avant de se désintégrer. On prendra bien soin de définir les événements considérés et durée propres et durée mesurée depuis la Terre. Montrer que ce calcul permet d'interpréter le fait de pouvoir détecter des muons à la surface de la Terre.

## II- GPS

Des satellites en orbite circulaire gravitent autour de la Terre à plus de vingt mille kilomètres d'altitude, à une vitesse d'environ quatorze mille kilomètres par heure.Chaque satellite possède une horloge atomique embarquée et émet des signaux électromagnétiques qui contiennent des informations sur la position et la date exacte où ils ont été émis.
Un récepteur GPS, au sol, doit recevoir au moins quatre signaux de quatre satellites différents pour pouvoir se localiser. Alors la comparaison de la date de réception et de la date d'émission permet au récepteur de calculer la distance qui le sépare de chaque satellite. Grâce à un calcul appelé « triangulation », il peut ainsi déterminer sa position sur le sol terrestre à 10m près.

1) Estimer un ordre de grandeur de la précision avec laquelle un GPS permet de se localiser.
2) *Le mouvement du satellite n'étant pas rectiligne, on admettra que le temps propre est défini par l'horloge embarquée à bord du satellite.*
   Expliquer qualitativement comment la relativité prévoit que l'horloge atomique embarquée à bord du GPS retarde par rapport à la même horloge restée au sol.
3) Calculer le retard τ accumulé en une journée terrestre par l'horloge embarquée à cause de l'effet relativiste évoqué à la question précédente.
4) Calculer l'erreur Δd faite par le récepteur GPS s'il calcule la distance qui le sépare du satellite sans tenir compte du retard pris par son horloge au bout d'une journée. À votre avis, peut-on considérer Δd comme « négligeable » ?
5) *Einstein a publié, en 1915, la relativité générale. Cette théorie, comme son nom l'indique, généralise la relativité restreinte à toutes les situations. En particulier cette théorie montre que le champ de pesanteur terrestre est lui aussi responsable d'un décalage entre l'horloge embarquée et celle restée au sol. Ce décalage est contraire à celui dû à la vitesse du satellite (calculé en c) . On montre que le champ de pesanteur terrestre est responsable chaque jour d'une avance de 45 µs de l'horloge embarquée par rapport à celle restée au sol.*
   En tenant compte des deux effets relativistes, calculer le décalage temporel total T entre les deux horloges accumulé en une journée. En déduire l'erreur $\Delta d_{tot}$ commise par le récepteur GPS s'il ne tient pas compte des effets relativistes. Montrer que ce calcul justifie la nécessité de prendre en compte la relativité pour concevoir un récepteur GPS.