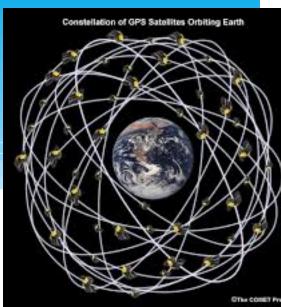
#### Relativité et GPS

Présentation de la résolution de problème

#### Le système GPS

- \* 24 satellites à 20 200 km d'altitude
- \* 6 satellites sur chaque orbite quasi circulaire
- \* 6 orbites inclinées de 55 ° (par rapport au plan équatorial)
- \* 4 satellites toujours visibles au moins.



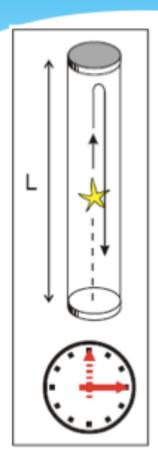
#### Le signal GPS

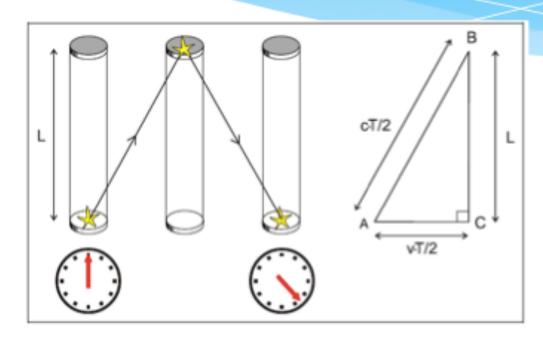
- \* Plusieurs segments (militaire, civil, administrateur...)
- \* Signal avec un porteuse autour de 1500 MHz
- \* Dans le signal : position des satellites, heure d'émission du signal
- \* Horloges atomiques embarquées

#### Les corrections relativistes

- \* En toute rigueur, il faut raisonner dans le référentiel géocentrique supposé galiléen.
- \* Pour les élèves : référentiel terrestre supposé galiléen, sans la rotation de la Terre.
- \* Les corrections relativistes : avance des horloges embarquées / horloges terrestres de 39 μs par jour

## Dilatation des durées : Horloge de lumière







$$\Delta t_{impropre} = \frac{\Delta t_{propre}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

#### Relativité restreinte

\* Dilatation du temps

\* Temps propre celui de l'horloge embarqué dans le satellite.

\* Retard de l'horloge / référence sur terre : 7,2μs par jour

#### Relativité générale

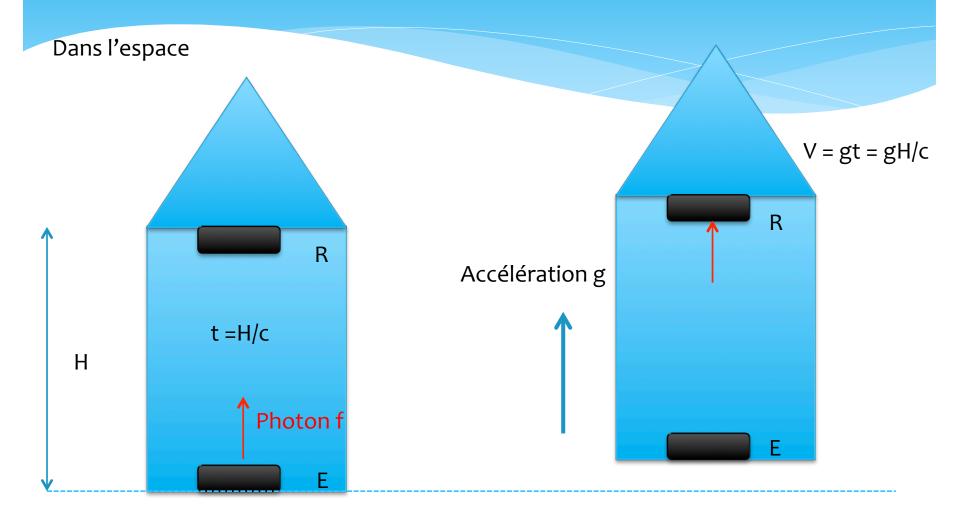
\* Décalage gravitationnel :

La gravitation « ralentit » le rythme de l'horloge désynchronisation des horloges proportionnelle à  $\Delta U/c^2$ 

Avec U le potentiel gravitationnel au voisinage de la Terre :  $U(R) = -G.M_T/R$ 

\* Avance de l'horloge / référence sur terre : 46 μs par jour

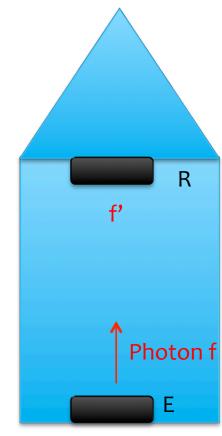
### Détour relativité générale



Doppler:  $f' = f(1-v/c) = f(1-gH/c^2)$ 

# Principe d'équivalence : situation analogue





$$f' = f(1-gH/c^2)$$

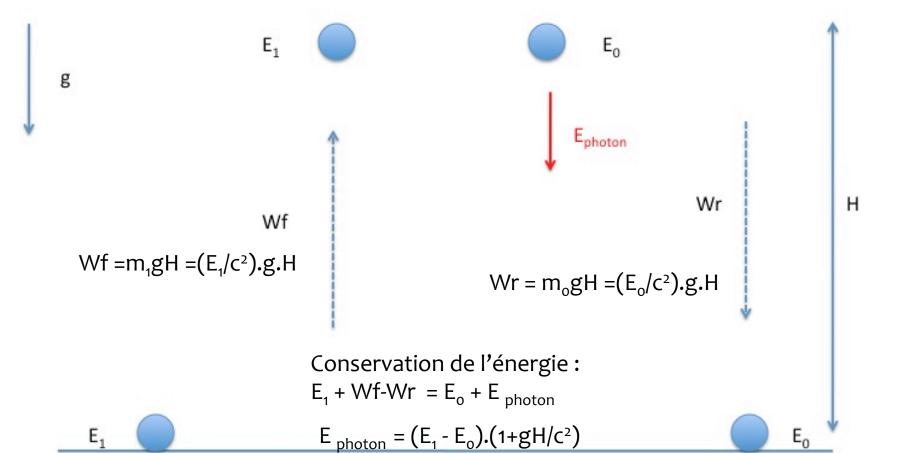
$$\Delta f/f = -gH/c^2$$

Décalage vers le rouge

La gravitation ralentit le rythme de l'horloge

#### Explication à la Feynman

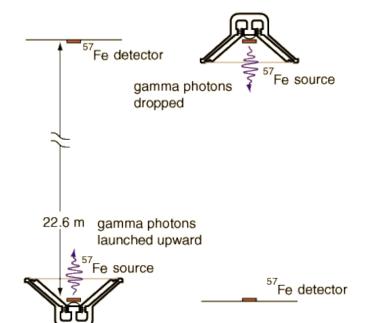
Soit un atome qui peut absorber un photon d'énergie : E<sub>1</sub>- E<sub>0</sub>= h.f



#### Expérience de Pound et Rebka, 1959

- \* Tour à Harvard de 22 m de haut
- \* 1 émetteur et 1 détecteur de rayon gamma
- \* Mise en évidence du décalage grâce à l'effet Mössbauer :  $\Delta f/f = 2.10^{-15}$







## Lien avec le potentiel gravitationnel U

\* 
$$U(R) = -G.M_T/R$$

\* 
$$\Delta U = U(R_T + H) - U(R_T) = gH \text{ si H petit devant } R_T$$

\* Décalage : ΔU/c²