

**Document 1** Le principe du GPS.

Le GPS comprend une constellation de 24 satellites. De l'heure d'émission et de l'heure de réception, l'utilisateur déduit la durée d'un aller simple du signal, donc la distance qui le sépare du satellite. En y ajoutant les positions des satellites, également spécifiées dans les signaux émis, le calculateur électronique du récepteur GPS détermine la position de l'utilisateur.

D'après J.-M. Courty et É. Kierlik,  
« Connaître sa position, un problème de relativité »,  
*Pour la Science* n° 326, déc. 2004.

**Document 2** La dilatation des temps et le GPS.

Si l'on considère n'importe quel phénomène se produisant dans le satellite en mouvement, sa durée telle qu'elle est mesurée par l'horloge du satellite est inférieure à la durée du même phénomène telle que la mesurent les horloges terrestres au repos. C'est la fameuse dilatation des temps prévue par la relativité restreinte.

La dilatation des temps est-elle notable pour les satellites GPS ? Ces satellites ne sont pas sur orbite géostationnaire et se déplacent, à plus de 20 000 kilomètres d'altitude, à la vitesse de 3 874 mètres par seconde. Leurs horloges retardent alors, par rapport aux horloges terrestres, de 7,1 microsecondes par jour, ce qui correspondrait à une erreur de position de deux kilomètres par jour si elle n'était pas corrigée. S'y ajoute en outre un effet plus important dû à la relativité générale.

D'après J.-M. Courty et É. Kierlik,  
« Connaître sa position, un problème de relativité »,  
*Pour la Science* n° 326, déc. 2004.

**Document 3** Relation entre durées dans différents référentiels.

L'intervalle de temps propre  $\Delta t_0$  entre deux événements, mesuré dans le référentiel propre R, est lié à l'intervalle de temps  $\Delta t'$  entre ces mêmes événements mesuré dans un autre référentiel galiléen R' se déplaçant à la vitesse  $v$  par rapport à R par la relation :

$$\Delta t' = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

**Données** • Les référentiels seront supposés galiléens.

- $(1+x)^\alpha \approx 1 + \alpha x$  si  $|x|$  est petit devant 1.
- Les signaux GPS se propagent à la célérité  $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

## Questions

Répondre à l'aide de ses connaissances et des documents.

1. On s'intéresse à la durée séparant deux événements, par exemple deux passages successifs du balancier d'une horloge par un même point d'amplitude maximale. Imaginons que cette horloge est embarquée dans un satellite GPS.
  - a. Définir le référentiel propre associé à ces deux événements. Quel est-il ?
  - b. L'intervalle de temps propre est-il plus court que l'intervalle de temps  $\Delta t'$  entre ces mêmes événements mesuré dans tout autre référentiel galiléen ? Expliquer ce qu'est « la fameuse dilatation des temps prévue par la relativité restreinte ».
2.
  - a. En approximant le mouvement circulaire du satellite à un mouvement rectiligne uniforme (valable sur des petites distances), exprimer la durée mesurée par l'horloge embarquée correspondant à une durée de un jour, mesurée sur Terre.
  - b. Retrouver la valeur du retard indiquée dans le texte.
3.
  - a. Montrer que la dérive journalière de  $7,1 \mu\text{s}$  engendre bien une incertitude de 2 km sur la position du récepteur.
  - b. En quoi est-il nécessaire de prendre en compte les effets relativistes pour les GPS ?