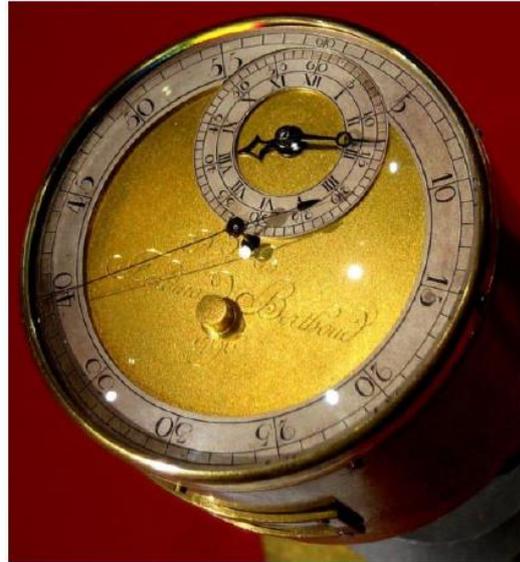


# Les gardiens du temps

En juillet 1714 le Parlement du Royaume Uni et la Reine Anne promulguent le « Longitude Act » qui établit une récompense de 20 000 Livres pour le découvreur d'une méthode fiable de mesure de la longitude pour la navigation maritime. Il en sera de même en France, en Espagne, en Hollande, dans les années qui suivirent. On l'a compris, il s'agit, pour ces nations maritimes, de disposer de moyens de navigation fiables.



Quatrième horloge de Harrison Royal  
Observatory Greenwich  
[http://michel.lalos.free.fr/cadrans\\_solaires/doc\\_cadrans/harrison/horloges\\_harrison.html](http://michel.lalos.free.fr/cadrans_solaires/doc_cadrans/harrison/horloges_harrison.html)



Chronomètre de marine  
« Ferdinand Berthoud no 65 »  
(vers 1796)  
Author: Fortunat Mueller-Maerki

La préoccupation est plus actuelle que jamais et généralisée à tous les modes de navigation avec les systèmes de géolocalisation (GPS, Galiléo, etc.).



<https://cnes.fr/fr/galileo-les-4-nouveaux-satellites-sont-tous-leurs-postes>

Mais il faut souligner que la fiabilité du repérage spatial est étroitement liée à la **précision de la mesure du temps**. C'est l'objet de l'étude qui suit.

**Consigne 1** individuel puis échanges en petit groupe (30 minutes)

**Vérifier la validité des propositions qui suivent.**

Nous sommes en l'an 1700. Les navigateurs disposent d'un garde - temps (une horloge) qui conserve l'heure solaire de leur point de départ. Pour faire le point on détermine le moment où le Soleil est le plus haut dans le ciel : il est alors midi (12 h) localement. La lecture de l'heure du garde - temps permet de déterminer le décalage horaire entre le point de départ et le lieu où se trouve le navire. On en déduit alors position (en longitude) du navire par rapport au point de départ.

On comprend que l'importance de la précision du garde – temps. **Une imprécision sur la mesure du temps d'une minute correspond à une imprécision sur la distance d'environ 28 km** au niveau de l'équateur.

En 1761, William Harrison (fils de l'horloger John Harrison qui concourt pour le prix du « Longitude Act ») effectue le voyage de l'Angleterre à la Jamaïque. A l'arrivée, le calcul montre que le chronomètre H4 de Harrison est en retard de 5 secondes, soit une erreur de longitude de 1,25 minute (1 degré = 60 minutes) soit une erreur de distance d'environ 2,3 km au niveau de l'équateur.



**A consulter** : [http://www.musee-marine.fr/programmes\\_multimedia/faire-le-point/](http://www.musee-marine.fr/programmes_multimedia/faire-le-point/)

**Document complémentaire (à traduire éventuellement)** : [Longitude Act.pdf]

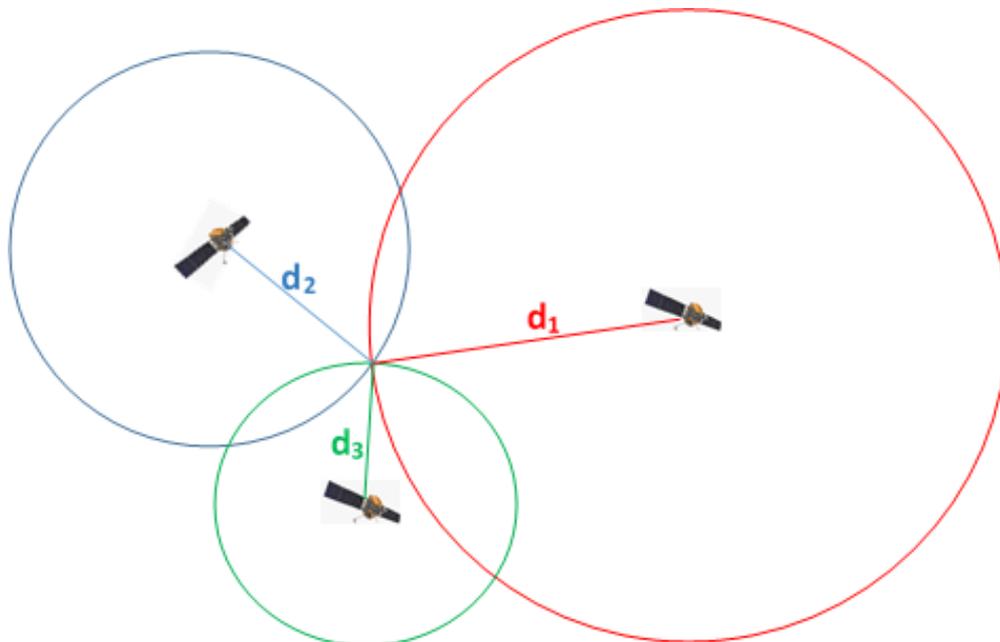
**Animation tableau** pour la mise au point.

## **Consigne 2** individuel puis échanges en petit groupe (20 minutes)

### Vérifier la validité des propositions qui suivent.

Un système de positionnement par satellites<sup>1</sup> fournit sur un récepteur les coordonnées géographiques (longitude, latitude, altitude), la vitesse de déplacement et l'heure à son utilisateur. Les satellites émettent en permanence des signaux micro-ondes donnant leur position précise par rapport à la Terre et l'heure précise (grâce à des horloges atomiques).

Le récepteur (un smartphone par exemple ou un récepteur de voiture) détermine le temps mis par les micro-ondes pour lui parvenir depuis un satellite en comparant la date d'émission – incluse dans le message – et la date de réception. Ceci permet de déterminer la distance **d** entre le récepteur et le satellite. Il suffit en principe de trois satellites pour déterminer la position du récepteur :



Mais diverses **sources d'imprécision** doivent être compensées, en particulier **celle de l'horloge du récepteur**. En effet la précision et la stabilité de l'heure du satellite est garantie par plusieurs horloges atomiques qui fournissent une heure qui ne dérive que de **quelques nanosecondes par jour** (une imprécision de 1 nanoseconde, soit  $10^{-9}$  s, induit une imprécision de 30 cm sur la distance<sup>2</sup>). Le récepteur, par contre, ne peut être équipé d'une horloge aussi précise pour des raisons de coût et d'encombrement : l'heure est fournie par un oscillateur à quartz dont la dérive journalière moyenne est de **10 millisecondes**. Or une désynchronisation de 10 millisecondes entre l'horloge du satellite et celle du récepteur engendre une erreur de calcul de la position de **3 000 km**. Ceci est compensé par l'utilisation du signal d'au moins un quatrième satellite (ou plus, ce qui améliore encore la précision du positionnement).

<sup>1</sup> Il existe plusieurs systèmes : GPS (américain), Galiléo (européen), Glonass (russe)... Le système GPS utilise un ensemble de 24 satellites en orbite (altitude de 20 200 km).

<sup>2</sup> La vitesse des signaux micro-onde est  $3 \times 10^8$  m/s (vitesse de la lumière).



*L'horloge atomique de la société Symmetricom, le plus petit modèle commercialisé du monde.*



	Ordre de grandeur de l'écart journalier	Équivalent en terme de précision de distance
<b>Montre à quartz</b>	Une seconde	300 000 km
<b>Oscillateur à quartz contrôlé en température (type récepteur GPS)</b>	10 millisecondes	3 000 km
<b>Oscillateur à quartz thermostaté</b>	0.1 milliseconde ( $10^{-4}$ s)	30 km
<b>Oscillateur Ultra Stable</b>	Quelques microsecondes ( $10^{-6}$ s)	300 m
<b>Horloge atomique (type satellites GPS ou Galileo)</b>	Dix nanosecondes ( $10^{-8}$ s)	3 m
<b>Horloge atomique du projet scientifique ACES/PHARAO</b>	Dix picosecondes ( $10^{-11}$ s)	3 mm

[Animation tableau](#) pour la mise au point.

