

INTRODUCTION

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Culture Scientifique : une très brève histoire du temps

A. Duittoz, C. Georgelin, L. Vilain

Année Universitaire 2011-2012

Parcours Métiers de l'enseignement

Horloges Antiques

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

- 1 Gnomon
- 2 Cadrams solaires
- 3 Clepsydras
- 4 Bougies et Sabliers

La nuit, on doit pouvoir mesurer le Temps

Horloges modernes

La course à la précision

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

- 1 Horloges mécaniques à foliot
- 2 Le pendule de Galilée et d'Huygens
- 3 Le ressort spiral et le début de la miniaturisation
- 4 Chronomètres de marine
- 5 Montres à Quartz
- 6 Horloges atomiques

Cadrams solaires

Plusieurs types

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Cadrans solaires

Cadran Equatorial

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

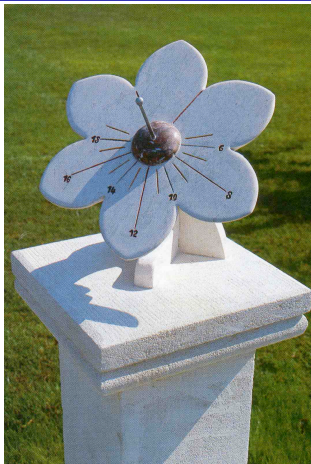
Cadrans solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Plan du Cadran parallèle à l'équateur

Cadrons solaires

Cadran Equatorial

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

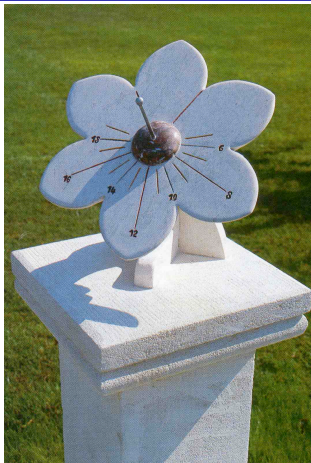
Cadrons solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Plan du Cadran parallèle à l'équateur

Toutes les heures , rotation de 15 degrés

Les deux faces sont éclairées

Châteaubernard, Charente

Cadrams solaires

Horizontaux/verticaux

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Trajectoire du bout de l'ombre :

Cadrams solaires

Horizontaux/verticaux

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Trajectoire du bout de l'ombre : une hyperbole
Aux équinoxes :

Cadrams solaires

Horizontaux/verticaux

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Trajectoire du bout de l'ombre : une hyperbole
Aux équinoxes : une droite

Cadrams solaires

Horizontaux/verticaux

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Tout est une question de projection

Cadran solaire

Horizontaux/verticaux

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

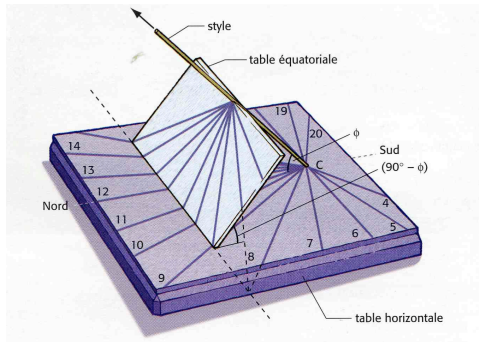
Cadran solaire

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Tout est une question de projection

Cadrams solaires

Polaires depuis 1470 (Cathédrale Strasbourg 1493)

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

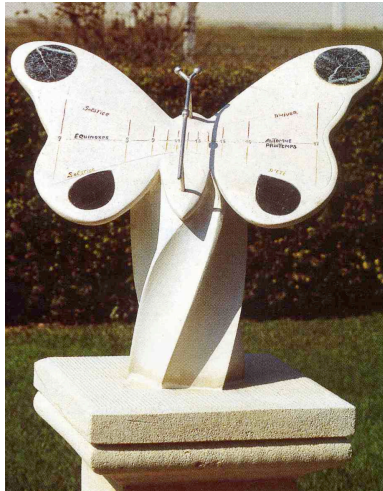
Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Châteaubernard, Charente

Clepsydras

Anciennes

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Clepsydre tronconique de Karnak

Clepsydras

Modernes

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Clepsydras

Le principe

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

l'Écoulement de l'eau permet la mesure du temps

Clepsydras

Le principe

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

l'Écoulement de l'eau permet la mesure du temps

Vitesse d'écoulement doit être constante

Clepsydras

Le principe

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

l'Écoulement de l'eau permet la mesure du temps

Vitesse d'écoulement doit être constante

Loi de Bernoulli : $V(t) = \sqrt{2gH(t)}$

où $H(t)$: Hauteur au dessus de l'écoulement (eau : non
visqueuse)

Clepsydras

Modernes

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrans solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Clepsydre de Ctésibios

Horloges Bougies

Rythmer la vie sociale ou religieuse

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

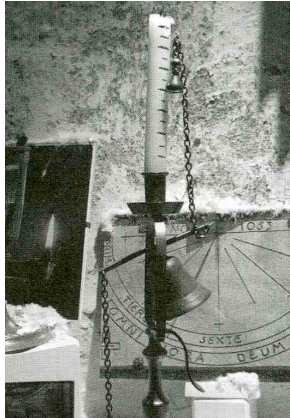
Cadran solaire

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Sabliers

Un écoulement peu sensible à la pression

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Peu sensible aux intempéries

La physique des sables n'est pas encore totalement maîtrisée.

Are you Lost ?

Descriptif du problème

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrans solaires
Clepsydres
Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Sydney le 20 Décembre, vol 714 ou 815 : vous décollez pour fêter Noël en famille à New York.

Dans votre poche, une magnifique montre à quartz avec une pile toute neuve à l'heure de Sydney pour votre neveu.

Are you Lost ?

Descriptif du problème

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrans solaires
Clepsydres
Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Sydney le 20 Décembre, vol 714 ou 815 : vous décollez pour fêter Noël en famille à New York.

Dans votre poche, une magnifique montre à quartz avec une pile toute neuve à l'heure de Sydney pour votre neveu.

L'avion se scratche sur une île de rêve où il fait toujours beau...

Are you Lost ?

Descriptif du problème

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrans solaires
Clepsydres
Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Sydney le 20 Décembre, vol 714 ou 815 : vous décollez pour fêter Noël en famille à New York.

Dans votre poche, une magnifique montre à quartz avec une pile toute neuve à l'heure de Sydney pour votre neveu.

L'avion se scratche sur une île de rêve où il fait toujours beau... Vous survivez avec votre montre ...et votre voisin a une radio....

Are you Lost ?

Descriptif du problème

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrons solaires
Clepsydres
Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Sydney le 20 Décembre, vol 714 ou 815 : vous décollez pour fêter Noël en famille à New York.

Dans votre poche, une magnifique montre à quartz avec une pile toute neuve à l'heure de Sydney pour votre neveu.

L'avion se scratche sur une île de rêve où il fait toujours beau... Vous survivez avec votre montre ...et votre voisin a une radio.... Comment faites vous pour que l'on vienne vous chercher ?

Are you Lost ?

Descriptif du problème

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Are you Lost ?

Un bâton et une montre ?

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrons solaires
Clepsydras
Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Si vous disposez d'un bâton et d'un peu de patience , vous êtes sauvés !

Pourquoi ?

Are you Lost ?

Un bâton et une montre ?

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires
Clepsydras
Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Si vous disposez d'un bâton et d'un peu de patience , vous êtes sauvés !

Pourquoi ?

Réponse : Bâton = Latitude

Are you Lost ?

Un bâton et une montre ?

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires
Clepsydras
Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Si vous disposez d'un bâton et d'un peu de patience , vous êtes sauvés !

Pourquoi ?

Réponse : $\text{Bâton} = \text{Latitude Bâton} + \text{Montre} = \text{longitude}$

Are you Lost ?

Longitude

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

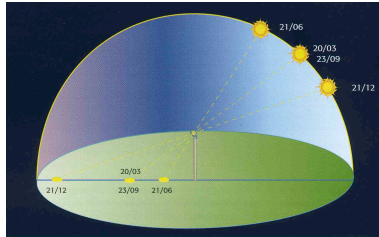
Cadran solaire

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Repérer la position minimale de l'ombre : **Midi solaire vrai**

Are you Lost ?

Longitude

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

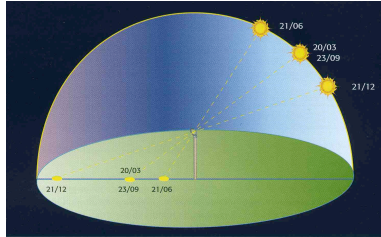
Cadran solaire

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Repérer la position minimale de l'ombre : **Midi solaire vrai**
Regarder l'heure H_m sur la montre au passage le lendemain
(peu de variation : solstice)

Are you Lost ?

Longitude

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

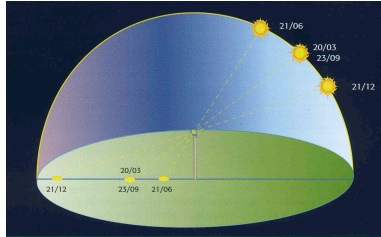
Cadrans solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Repérer la position minimale de l'ombre : **Midi solaire vrai**
Regarder l'heure H_m sur la montre au passage le lendemain
(peu de variation : solstice)
 $H_m - 12h = \text{Décalage horaire}$

Are you Lost ?

Longitude

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

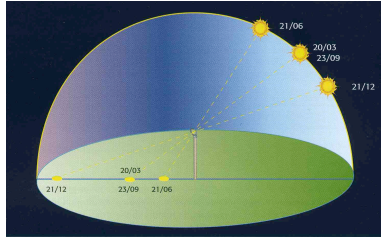
Cadrans solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Repérer la position minimale de l'ombre : **Midi solaire vrai**
Regarder l'heure H_m sur la montre au passage le lendemain
(peu de variation : solstice)
 $H_m - 12h = \text{Décalage horaireLongitude}$

Are you Lost ?

Longitude

Culture
Scientifique

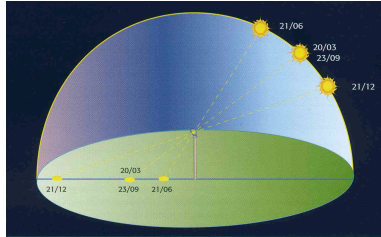
C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrons solaires
Clepsydras
Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Repérer la position minimale de l'ombre : **Midi solaire vrai**
Regarder l'heure H_m sur la montre au passage le lendemain
(peu de variation : solstice)

$H_m - 12h = \text{Décalage horaire} \dots \text{Longitude}$

$\pm 1h$ de décalage = 15 degrés de longitude vers l'Est ou vers
l'Ouest. **Attention !** Heure légale en Australie ?

Heure de Sydney $UTC/GMT + 10h$ en hiver

Actuellement $UTC/GMT + 11h$ car c'est l'été (jusqu'au
4/04/10)

Are you Lost ?

Longitude

Culture
Scientifique

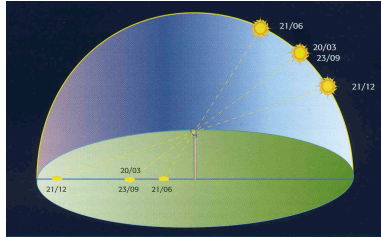
C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrans solaires
Clepsydras
Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Repérer la position minimale de l'ombre : **Midi solaire vrai**
Regarder l'heure H_m sur la montre au passage le lendemain
(peu de variation : solstice)

$H_m - 12h = \text{Décalage horaire} \dots \text{Longitude}$

$\pm 1h$ de décalage = 15 degrés de longitude vers l'Est ou vers
l'Ouest. **Attention !** Heure légale en Australie ?

Heure de Sydney $UTC/GMT + 10h$ en hiver

Actuellement $UTC/GMT + 11h$ car c'est l'été (jusqu'au
4/04/10)

Heure légale en France

Hiver ou été ?

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Heure Légale = Heure solaire + Equation du temps
+ Longitude horaire + 1h en hiver + 2h en été.

Are you Lost ?

Latitude

Culture
Scientifique

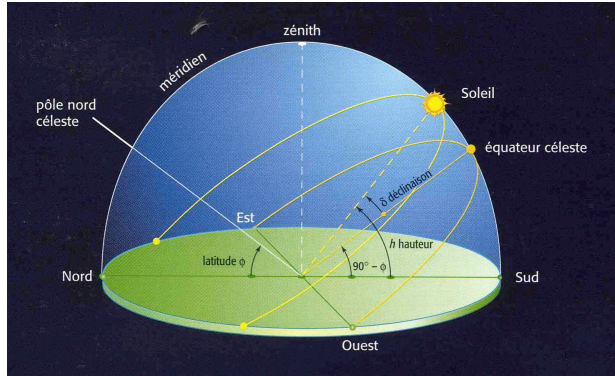
C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire
Clepsydras
Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



$$h = 90 - \phi + \delta$$

Are you Lost ?

Latitude

Culture
Scientifique

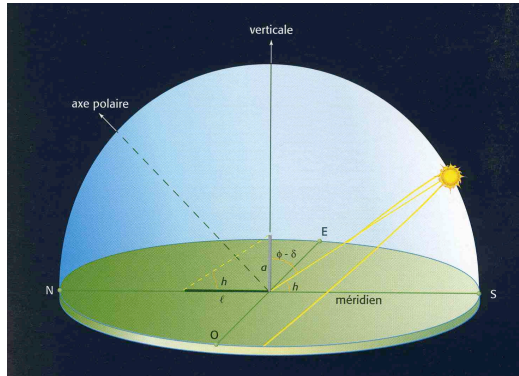
C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire
Clepsydres
Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



$$h = 90 - \phi + \delta$$

ϕ : latitude du lieu

δ la déclinaison

Latitude



Are you Lost ?

Latitude

Culture
Scientifique

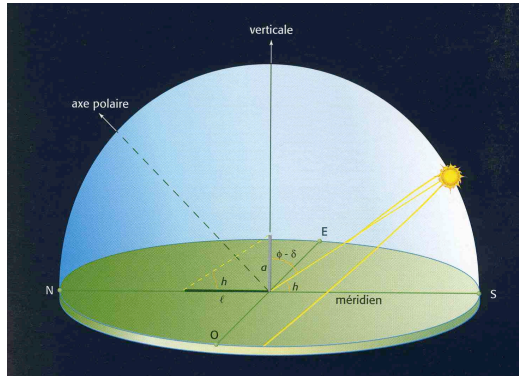
C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire
Clepsydras
Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



$$h = 90 - \phi + \delta$$

ϕ : latitude du lieu

δ la déclinaison Solstice d'hiver $\delta = -23,26$

h : la hauteur $\tan(h) = \frac{a}{l}$.

Cadrams solaires

Retour sur une courbe

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Trajectoire du bout de l'ombre :

Cadrams solaires

Retour sur une courbe

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Trajectoire du bout de l'ombre : une hyperbole
Equation (axe des y vers le Nord, des x vers l'Est) :

$$y = \frac{-a \sin \phi \cos \phi + \sin \delta \sqrt{x^2(-\sin^2 \delta + \cos^2 \phi) + a^2 \cos^2 \delta}}{\sin^2 \delta - \cos^2 \phi}$$

Aux équinoxes :

Cadrams solaires

Retour sur une courbe

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Trajectoire du bout de l'ombre : une hyperbole
Equation (axe des y vers le Nord, des x vers l'Est) :

$$y = \frac{-a \sin \phi \cos \phi + \sin \delta \sqrt{x^2 (-\sin^2 \delta + \cos^2 \phi) + a^2 \cos^2 \delta}}{\sin^2 \delta - \cos^2 \phi}$$

Aux équinoxes : $y = a \tan \phi$ c'est

Cadrams solaires

Retour sur une courbe

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Trajectoire du bout de l'ombre : une hyperbole
Equation (axe des y vers le Nord, des x vers l'Est) :

$$y = \frac{-a \sin \phi \cos \phi + \sin \delta \sqrt{x^2(-\sin^2 \delta + \cos^2 \phi) + a^2 \cos^2 \delta}}{\sin^2 \delta - \cos^2 \phi}$$

Aux équinoxes : $y = a \tan \phi$ c'est une droite !

Aux poles :

Cadrams solaires

Retour sur une courbe

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Trajectoire du bout de l'ombre : une hyperbole
Equation (axe des y vers le Nord, des x vers l'Est) :

$$y = \frac{-a \sin \phi \cos \phi + \sin \delta \sqrt{x^2(-\sin^2 \delta + \cos^2 \phi) + a^2 \cos^2 \delta}}{\sin^2 \delta - \cos^2 \phi}$$

Aux équinoxes : $y = a \tan \phi$ c'est une droite !

Aux poles : $\phi = 90$

Cadrans solaires

Retour sur une courbe

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrans solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Trajectoire du bout de l'ombre : une hyperbole
Equation (axe des y vers le Nord, des x vers l'Est) :

$$y = \frac{-a \sin \phi \cos \phi + \sin \delta \sqrt{x^2 (-\sin^2 \delta + \cos^2 \phi) + a^2 \cos^2 \delta}}{\sin^2 \delta - \cos^2 \phi}$$

Aux équinoxes : $y = a \tan \phi$ c'est une droite !

Aux pôles : $\phi = 90^\circ$ des cercles !

Are you Lost ?

Latitude

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

MESURER la Latitude c'est mesurer la hauteur de l'astre Soleil
au dessus de l'horizon

au passage du méridien $\phi = 90 - h + \delta$

Are you Lost ?

Latitude

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

MESURER la Latitude c'est mesurer la hauteur de l'astre Soleil
au dessus de l'horizon

au passage du méridien $\phi = 90 - h + \delta$

Il faut connaître la déclinaison δ

Are you Lost ?

Latitude

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

MESURER la Latitude c'est mesurer la hauteur de l'astre Soleil
au dessus de l'horizon

au passage du méridien $\phi = 90 - h + \delta$

Il faut connaître la déclinaison δ

Instrument Antique : l'astrolabe

Are you Lost ?

Latitude

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

MESURER la Latitude c'est mesurer la hauteur de l'astre Soleil
au dessus de l'horizon

au passage du méridien $\phi = 90 - h + \delta$

Il faut connaître la déclinaison δ

Instrument Antique : l'astrolabe

Permet aussi la mesure de l'heure pendant la
nuit :

Are you Lost ?

Latitude

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

MESURER la Latitude c'est mesurer la hauteur de l'astre Soleil
au dessus de l'horizon

au passage du méridien $\phi = 90 - h + \delta$

Il faut connaître la déclinaison δ

Instrument Antique : l'astrolabe

Permet aussi la mesure de l'heure pendant la
nuit : **Constellations connues**

L'enjeu économique du calcul de la longitude

A partir du XV siècle

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire
Clepsydra
Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Maîtriser les mers = Maîtrise du commerce mondial

L'enjeu économique du calcul de la longitude

A partir du XV siècle

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Maîtriser les mers = Maîtrise du commerce mondial
Améliorer la gouvernance des bateaux
(Gouvernail d'étambot, Grément)

L'enjeu économique du calcul de la longitude

A partir du XV siècle

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Maîtriser les mers = Maîtrise du commerce mondial
Améliorer la gouvernance des bateaux
(Gouvernail d'étambot, Grément)
Maîtriser la direction du bateau :
Trouver le Nord : la boussole (Chine)

L'enjeu économique du calcul de la longitude

A partir du XV siècle

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Maîtriser les mers = Maîtrise du commerce mondial
Améliorer la gouvernance des bateaux
(Gouvernail d'étambot, Grément)
Maîtriser la direction du bateau :
Trouver le Nord : la boussole (Chine)
Problème : le roulis : , montée sur pivot en mer

L'enjeu économique du calcul de la longitude

A partir du XV siècle

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Maîtriser les mers = Maîtrise du commerce mondial

Améliorer la gouvernance des bateaux

(Gouvernail d'étambot, Grément)

Maîtriser la direction du bateau :

Trouver le Nord : la boussole (Chine)

Problème : le roulis : , montée sur pivot en mer

Problème : La déclinaison magnétique !

Journal de bord de Christophe Colomb

L'enjeu économique du calcul de la longitude

A partir du XV siècle

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Maîtriser les mers = Maîtrise du commerce mondial

Améliorer la gouvernance des bateaux

(Gouvernail d'étambot, Grément)

Maîtriser la direction du bateau :

Trouver le Nord : la boussole (Chine)

Problème : le roulis : , montée sur pivot en mer

Problème : La déclinaison magnétique !

Journal de bord de Christophe Colomb

L'enjeu économique du calcul de la longitude

A partir du XV siècle

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Mesurer la latitude en mer :

Problème : le roulis , le tangage et autres mouvements de la
mer :

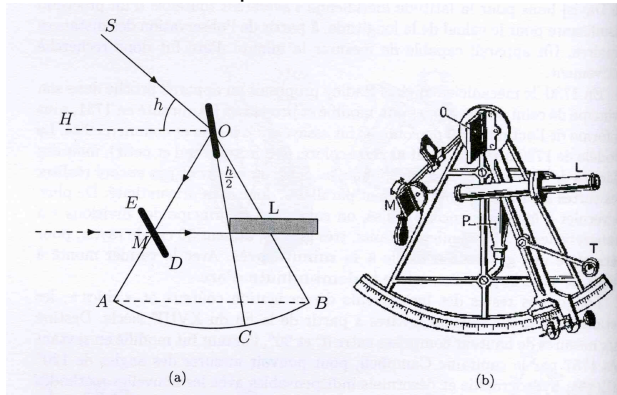
Octant puis sextant ~ 1700

A partir du XV siècle

Mesurer la latitude en mer :

Problème : le roulis , le tangage et autres mouvements de la mer :

Octant puis sextant ~ 1700



Mesurer la latitude en mer : Sextant

le principe

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

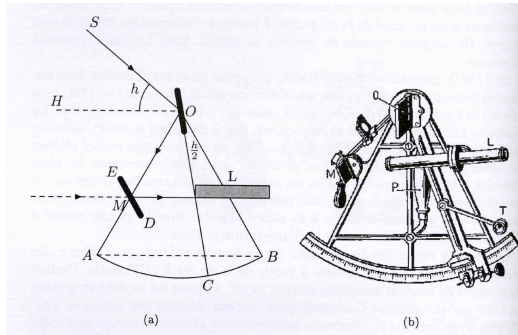
Cadran solaire

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Le " miroir" ED est parallèle au montant OB, $AB \parallel$ Lunette)
En pivotant l'axe de OC, faire coïncider sur la lunette L :
l'image de l'horizon (H) (ME est transparent)
l'image de l'astre visé (S) (MD est argenté)

Mesurer la latitude en mer : Sextant

le principe

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

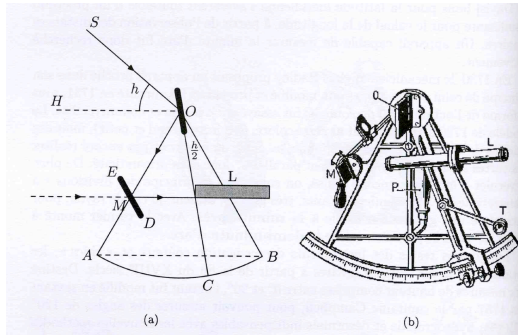
Cadran solaire

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Le " miroir" ED est parallèle au montant OB, $AB \parallel$ Lunette)
En pivotant l'axe de OC, faire coïncider sur la lunette L :
l'image de l'horizon (H) (ME est transparent)
l'image de l'astre visé (S) (MD est argenté)
l'angle $COB = \frac{h}{2}$

Mesurer la latitude en mer : Sextant

le principe

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

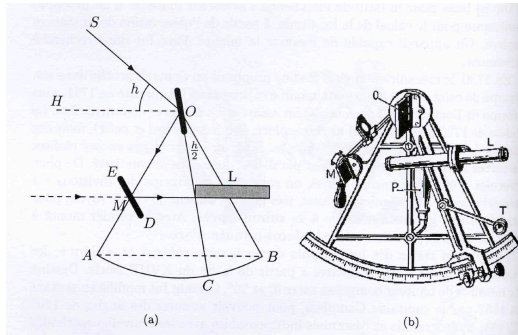
Cadran solaire

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Le " miroir" ED est parallèle au montant OB, $AB \parallel$ Lunette)
En pivotant l'axe de OC, faire coïncider sur la lunette L :
l'image de l'horizon (H) (ME est transparent)
l'image de l'astre visé (S) (MD est argenté)
l'angle $COB = \frac{h}{2}$ h Hauteur de l'astre

L'enjeu économique du calcul de la longitude

A partir du XV siècle

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Mesurer la longitude en mer :

Maîtriser le Temps

L'enjeu économique du calcul de la longitude

A partir du XV siècle

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Mesurer la longitude en mer :

Maîtriser le Temps
mais un bateau c'est en mouvement !

Horloge Mécanique

Le principe

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

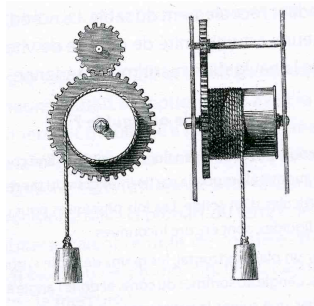
Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Une masse entraine la rotation d'un axe

Horloge Mécanique

Le principe

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

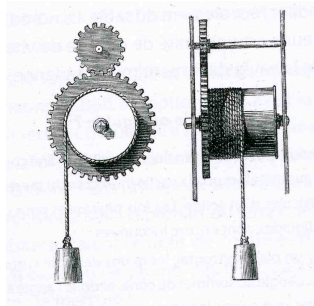
Cadran solaire

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Une masse entraine la rotation d'un axe

Problème : Comment freiner la chute de la masse ?

But : Obtenir un mouvement " uniforme "

Horloge Mécanique

Le foliot

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

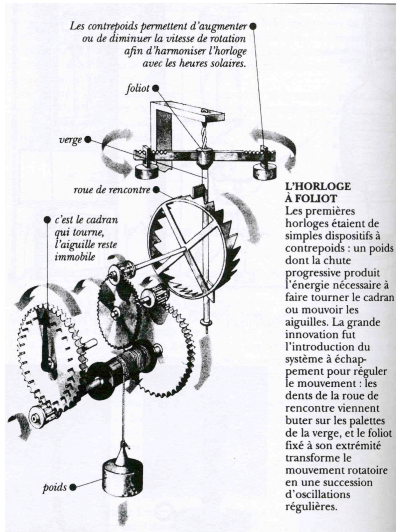
Cadrons solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Une dent bloque la chute de la masse

Horloge Mécanique

Le foliot

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

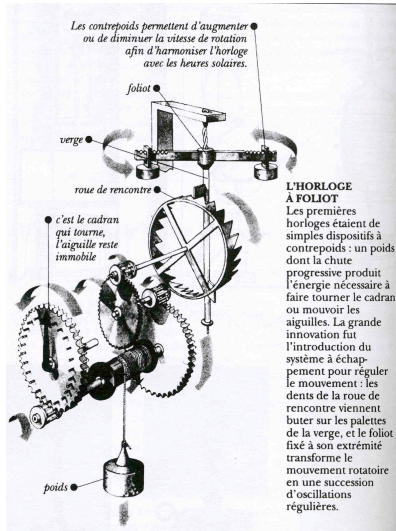
Cadrons solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Une dent bloque la chute de la masse

Horloge Mécanique

Le foliot

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

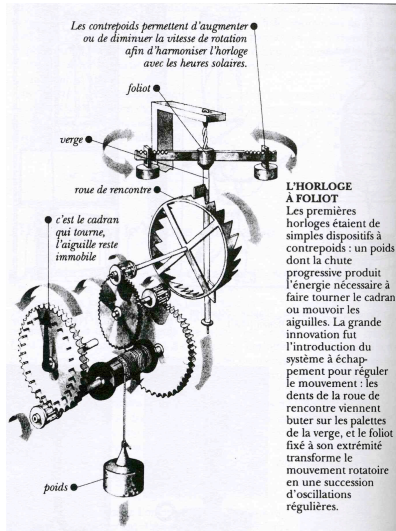
Cadrons solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Une dent bloque la chute de la masse

Pendule

Galilée vs Huygens (1629-1695, Hollandais)

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

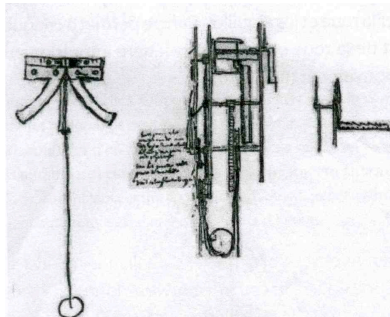
Clepsydras

Sables et

Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



En 1659 invention du Pendule Cycloidal

Echappement à ancre

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

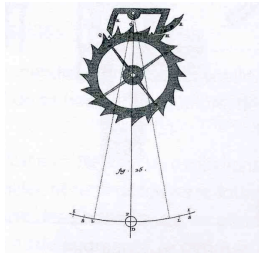
Cadran solaire

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Le mouvement du pendule libère "dent à dent"

Le ressort spiral et le début de la miniaturisation

Les oeufs de Nuremberg

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Remplacer la masse qui tombe par un ressort en forme de spirale

Ressort en spirale de Huygens

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

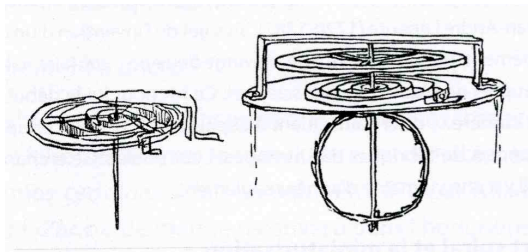
Cadran solaire

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



1674 : le ressort à spirale de Huygens

Polémique avec Hooke

Où la maîtrise des mers entraîne des progrès techniques

Longitude Act

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires
Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

En 1707, désastre des îles Scilly : 2000 morts faute de savoir mesurer la longitude

Le Parlement Britannique crée le Conseil des Longitudes ([l. Newton](#))

En 1714, Longitude Act : prix de 10000 Livres pour mesurer la longitude au degré près.

Longitude Act

Deux méthodes

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et

Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Pour résoudre ce problème , deux écoles s'affrontent :
-Ecole astronomique : Eclipses de soleil ou de lune
(Evenements trop rares pour la navigation)

Longitude Act

Deux méthodes

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Pour résoudre ce problème , deux écoles s'affrontent :

-Ecole astronomique : Eclipses de soleil ou de lune
(Evenements trop rares pour la navigation)

ou distance lunaire : mesurer des écarts angulaires entre la lune
et des étoiles fixes du ciel

Longitude Act

Deux méthodes

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Pour résoudre ce problème , deux écoles s'affrontent :

-Ecole astronomique : Eclipses de soleil ou de lune

(Evenements trop rares pour la navigation)

ou distance lunaire : mesurer des écarts angulaires entre la lune
et des étoiles fixes du ciel

Mesures à faire sur toute la Terre et mise en commun

.....

Longitude Act

Deux méthodes

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Pour résoudre ce problème , deux écoles s'affrontent :

-Ecole astronomique : Eclipses de soleil ou de lune

(Evenements trop rares pour la navigation)

ou distance lunaire : mesurer des écarts angulaires entre la lune
et des étoiles fixes du ciel

Mesures à faire sur toute la Terre et mise en commun
.....Problème international

Longitude Act

Deux méthodes

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Pour résoudre ce problème , deux écoles s'affrontent :

-Ecole astronomique : Eclipses de soleil ou de lune

(Evenements trop rares pour la navigation)

ou distance lunaire : mesurer des écarts angulaires entre la lune
et des étoiles fixes du ciel

Mesures à faire sur toute la Terre et mise en commun
.....Problème international

-Ecole horlogère

Et le vainqueur est : John Harrison (1693-1777)

Ecole horlogère a gagné

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Un horloger de génie originellement charpentier :
-1713

Et le vainqueur est : John Harrison (1693-1777)

Ecole horlogère a gagné

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Un horloger de génie originellement charpentier :
-1713 Première horloge .. ;

Et le vainqueur est : John Harrison (1693-1777)

Ecole horlogère a gagné

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Un horloger de génie originellement charpentier :

-1713 Première horloge .. ;en Bois !

-1717 :

Et le vainqueur est : John Harrison (1693-1777)

Ecole horlogère a gagné

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et

Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Un horloger de génie originellement charpentier :

-1713 Première horloge ..;en Bois !

-1717 : Maîtrise de l'équation du Temps

-1722

Et le vainqueur est : John Harrison (1693-1777)

Ecole horlogère a gagné

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Un horloger de génie originellement charpentier :

-1713 Première horloge ..; en Bois !

-1717 : Maîtrise de l'équation du Temps

-1722 Horloge de Brocklesby

-1725-1727

Et le vainqueur est : John Harrison (1693-1777)

Ecole horlogère a gagné

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Un horloger de génie originellement charpentier :

- 1713 Première horloge ..;en Bois !
- 1717 : Maîtrise de l'équation du Temps
- 1722 Horloge de Brocklesby
- 1725-1727 Invente l'horloge à boîtiers de nos arrières-grands-parents
- Deux innovations techniques

Et le vainqueur est : John Harrison (1693-1777)

Ecole horlogère a gagné

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Un horloger de génie originellement charpentier :

-1713 Première horloge ..;en Bois !

-1717 : Maîtrise de l'équation du Temps

-1722 Horloge de Brocklesby

-1725-1727 Invente l'horloge à boîtiers de nos
arrière-grands-parents

-Deux innovations techniques "Le grill et la sauterelle"

-Précision : 1 seconde de décalage

Et le vainqueur est : John Harrison (1693-1777)

Ecole horlogère a gagné

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Un horloger de génie originellement charpentier :

-1713 Première horloge ..; en Bois !

-1717 : Maîtrise de l'équation du Temps

-1722 Horloge de Brocklesby

-1725-1727 Invente l'horloge à boîtiers de nos
arrière-grands-parents

-Deux innovations techniques "Le grill et la sauterelle"

-Précision : 1 seconde de décalage par mois !

Et le vainqueur est : John Harrison (1693-1777)

Harrison rencontre Newton et Halley en 1730

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Il candidate pour le prix Longitude Act :

Quatres horloges H_1 , H_2 , H_3 et H_4 (Naval Museum de Londres)

Et le vainqueur est : John Harrison (1693-1777)

Harrison rencontre Newton et Halley en 1730

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire
Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Il candidate pour le prix Longitude Act :

Quatre horloges H_1 , H_2 , H_3 et H_4 (Naval Museum de Londres)

Précision : 15 secondes de décalage pour 156 jours de voyage

-H1 : au bout de 5 ans , elle est prête. ; MAis test en 1736 :
concluant

-30/06/1737 : Présentation de H1 de vant le conseil de
Longitude Act

Harrison demande 500 Livres (pas le prix) pour améliorer H1 !

Innovations Techniques :

-H3 : Bande bimétallique

Et le vainqueur est : John Harrison (1693-1783)

Harrison rencontre Newton et Halley en 1728

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrons solaires
Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Il candidate pour le prix Longitude Act :

Quatre horloges H_1 , H_2 , H_3 et H_4 (Naval Museum de Londres)

Précision : 15 secondes de décalage pour 156 jours de voyage

- H_1 : au bout de 5 ans , elle est prête. ; Mais test en 1736 :
concluant

-30/06/1737 : Présentation de H_1 de vant le conseil de
Longitude Act

Harrison demande 500 Livres (pas le prix) pour améliorer H_1 !

Innovations Techniques :

- H_3 : Bande bimétallique **Maîtriser la Température**

- H_3 : Roulement à bille captif

Et le vainqueur est : John Harrison (1693-1783)

Harrison rencontre Newton et Halley en 1728

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Il candidate pour le prix Longitude Act :

Quatre horloges H_1 , H_2 , H_3 et H_4 (Naval Museum de Londres)

Précision : 15 secondes de décalage pour 156 jours de voyage

-H1 : au bout de 5 ans , elle est prête. ; Mais test en 1736 :
concluant

-30/06/1737 : Présentation de H1 de vant le conseil de
Longitude Act

Harrison demande 500 Livres (pas le prix) pour améliorer H1 !

Innovations Techniques :

-H3 : Bande bimétallique **Maîtriser la Température**

-H3 : Roulement à bille captif **Eviter les frottements**

-H4 : Diamant et Rubis

Et le vainqueur est : John Harrison (1693-1777)

Harrison rencontre Newton et Halley en 1730

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrons solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Il candidate pour le prix Longitude Act :

Quatre horloges H_1 , H_2 , H_3 et H_4 (Naval Museum de Londres)

Précision : 15 secondes de décalage pour 156 jours de voyage

-H1 : au bout de 5 ans , elle est prête. ; MAis test en 1736 :
concluant

-30/06/1737 : Présentation de H1 de vant le conseil de
Longitude Act

Harrison demande 500 Livres (pas le prix) pour améliorer H1 !

Innovations Techniques :

-H3 : Bande bimétallique **Maîtriser la Température**

-H3 : Roulement à bille captif **Eviter les frottements**

-H4 : Diamant et Rubis **Diminuer encore les frottements**

-H4 : Huile visqueuse

Et le vainqueur est : John Harrison (1693-1777)

Harrison rencontre Newton et Halley en 1730

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire
Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Il candidate pour le prix Longitude Act :

Quatre horloges H_1 , H_2 , H_3 et H_4 (Naval Museum de Londres)

Précision : 15 secondes de décalage pour 156 jours de voyage

-H1 : au bout de 5 ans , elle est prête. ; MAis test en 1736 :
concluant

-30/06/1737 : Présentation de H1 de vant le conseil de
Longitude Act

Harrison demande 500 Livres (pas le prix) pour améliorer H1 !

Innovations Techniques :

-H3 : Bande bimétallique **Maîtriser la Température**

-H3 : Roulement à bille captif **Eviter les frottements**

-H4 : Diamant et Rubis **Diminuer encore les frottements**

-H4 : Huile visqueuse **Toujours diminuer les frottements**

Références

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrons solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

- F. Berthou (Candidat malheureux) : traité de la mesure du temps (Google Book)
- D. Sobel : Longitude Lattès
- F Marguet : Histoire de la Longitude en mer
- E. Hébert : Instruments scientifiques à travers l'Histoire
- J. Heers : Christophe Colomb
- V. Jullien : Le calcul des Longitudes

Horloges à Quartz

Le principe

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrans solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Quartz : matériau piézo électrique
Transforme une contrainte mécanique en un "courant
électrique"

Horloges à Quartz

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

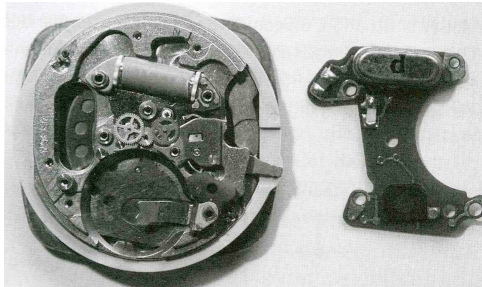
Cadran solaire

Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Fréquence de résonance 32768Hz :

Horloges à Quartz

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

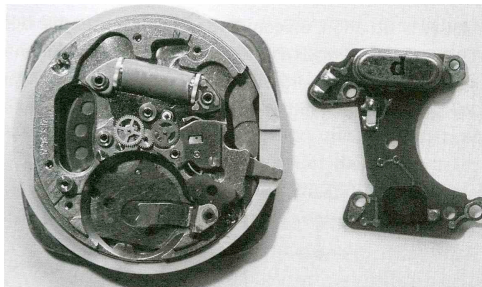
Cadran solaire

Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Fréquence de résonance 32768Hz :

La lame de quartz oscille $32768 = 2^{15}$ fois par seconde

Précision : 1/1000 ème de seconde

Horloges atomiques

Elles pilotent le monde : GPS, Loran C....

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Le principe

Les électrons "tournent autour du noyau"

Niveaux d'énergie = "Echelle"

Passer d'un niveau E_1 à E_2 requiert une énergie hyperprécise

Phénomène de résonnance via des ondes électromagnétiques

,

Horloges atomiques

Horloge au Césium (ref de La Souchière)

Culture
Scientifique

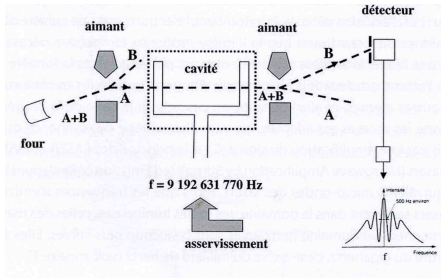
C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire
Clepsydra
Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Fréquence de résonance
9192631770Hz

Le temps atomique

Définition de la seconde

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

1967 : la seconde est la durée de 9192631770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de Césium

Temps atomique International

Moyenne sur 300 horloges atomiques

Le temps atomique

Définition de la seconde

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire
Clepsydra
Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

1967 : la seconde est la durée de 9192631770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de Césium

Temps atomique International

Moyenne sur 300 horloges atomiques

Problème de la synchronisation des horloges résolu par GPS (à l'envers)

Précision : une nanoseconde 10^{-9} s.

Le temps atomique

Une horloge atomique

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



les différents TEMPS

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

'Le jour solaire vrai : intervalle de temps entre 2 passages consécutifs au méridien

les différents TEMPS

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire
Clepsydres
Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

'Le jour solaire vrai : intervalle de temps entre 2 passages consécutifs au méridien

Le jour solaire moyen : intervalle de temps corrigé . Il vaut 24 heures soit 86400 secondes astronomiques.

les différents TEMPS

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrons solaires
Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

'Le jour solaire vrai : intervalle de temps entre 2 passages consécutifs au méridien

Le jour solaire moyen : intervalle de temps corrigé . Il vaut 24 heures soit 86400 secondes astronomiques.

Temps universel (UT) : échelle fondée sur le jour solaire moyen . Durée localement variable.

Temps atomique International : échelle de temps fondée sur l'écoulement de secondes atomiques (Césium)

les différents TEMPS

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire
Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

'Le jour solaire vrai : intervalle de temps entre 2 passages consécutifs au méridien

Le jour solaire moyen : intervalle de temps corrigé . Il vaut 24 heures soit 86400 secondes astronomiques.

Temps universel (UT) : échelle fondée sur le jour solaire moyen . Durée localement variable.

Temps atomique International : échelle de temps fondée sur l'écoulement de secondes atomiques (Césium)

Temps universel (UTC) : échelle de temps qui suit le Temps atomique et synchronisé avec le Temps Universel par ajout de secondes intercalaires.

Les " valse hésitations du soleil dans notre calendrier"

Le jour s'allonge de façon " bizarre"

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

■ 25/12 L : 7h45 C : 15h56 Durée du Jour : 8h11

Les "valse" hésitations du soleil dans notre calendrier"

Le jour s'allonge de façon "bizarre"

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire
Clepsydres
Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

■ 25/12 L : 7h45 C : 15h56 Durée du Jour : 8h11

■ 01/01 L : 7h46 C : 16h02 Durée du Jour : 8h16

Les "valse" hésitations du soleil dans notre calendrier"

Le jour s'allonge de façon "bizarre"

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrons solaires
Clepsydres

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

- | | | |
|---------|--------------------|----------------------|
| ■ 25/12 | L : 7h45 C : 15h56 | Durée du Jour : 8h11 |
| ■ 01/01 | L : 7h46 C : 16h02 | Durée du Jour : 8h16 |
| ■ 10/01 | L : 7h44 C : 16h12 | l'AM prend tout |

Les " valse hésitations du soleil dans notre calendrier"

Le jour s'allonge de façon "bizarre"

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

■ 25/12	L : 7h45 C : 15h56	Durée du Jour : 8h11
■ 01/01	L : 7h46 C : 16h02	Durée du Jour : 8h16
■ 10/01	L : 7h44 C : 16h12	l'AM prend tout
■ 19/01	L : 7h38 C : 16h25	Durée du Jour : 8h47

Les " valse hésitations du soleil dans notre calendrier"

Le jour s'allonge de façon "bizarre"

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydres

Sables et

Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

- 25/12 L : 7h45 C : 15h56 Durée du Jour : 8h11
- 01/01 L : 7h46 C : 16h02 Durée du Jour : 8h16
- 10/01 L : 7h44 C : 16h12 l'AM prend tout
- 19/01 L : 7h38 C : 16h25 Durée du Jour : 8h47
- Gain : 36 mn réparties 7mn le matin et 29 mn le soir

Les " valse hésitations du soleil dans notre calendrier"

Le jour s'allonge de façon "bizarre"

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

- 25/12 L : 7h45 C : 15h56 Durée du Jour : 8h11
- 01/01 L : 7h46 C : 16h02 Durée du Jour : 8h16
- 10/01 L : 7h44 C : 16h12 l'AM prend tout
- 19/01 L : 7h38 C : 16h25 Durée du Jour : 8h47
- Gain : 36 mn réparties 7mn le matin et 29 mn le soir
- Quel est le problème ?

L'équation du temps

Temps moyen – temps vrai

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

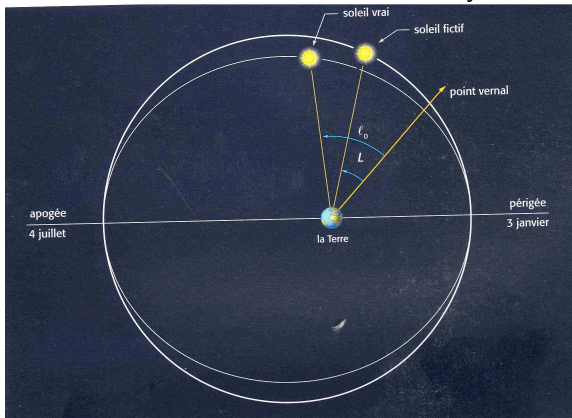
Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

La **deuxième loi** de Képler entraîne un décalage
entre le soleil vrai et le soleil "moyen"



L'équation du temps

Temps moyen – temps vrai

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

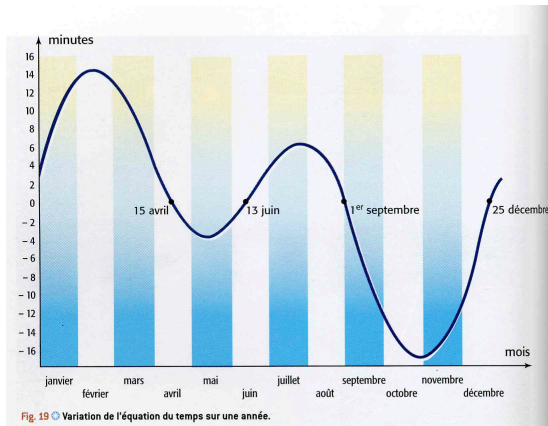
Clepsydras

Sables et

Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



L'équation du temps

Explication des errances du calendrier

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrans solaires
Clepsydras
Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Entre le 25/12 et le 19/01, l'équation du temps passe de 0 à 11 mn.

L'équation du temps

Explication des errances du calendrier

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrans solaires
Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Entre le 25/12 et le 19/01, l'équation du temps passe de 0 à 11 mn.

Le 19/01 nos horloges indique qu'il est midi environ 11 mn avant le midi solaire vrai .

La matinée : $18 - 11 = 7\text{mn}$

L'après-midi : $18 + 11 = 29\text{ mn}$

Plus tu bats vite, Plus c'est précis, plus il faut corriger

Un jour astronomique 86400 secondes atomiques

Culture
Scientifique

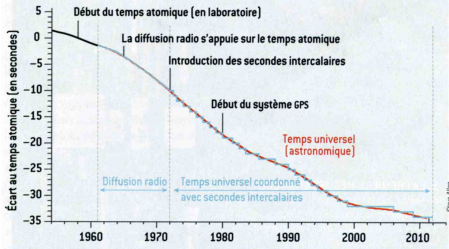
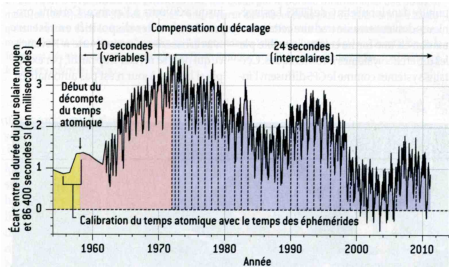
C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire
Clepsydra
Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Plus tu bats vite, Plus c'est précis, plus il faut corriger

Un jour astronomique 86400 secondes atomiques

Culture
Scientifique

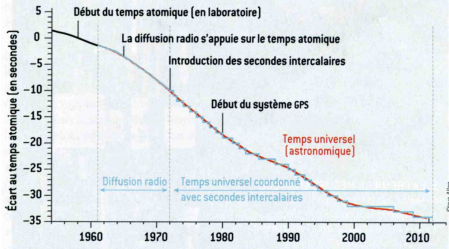
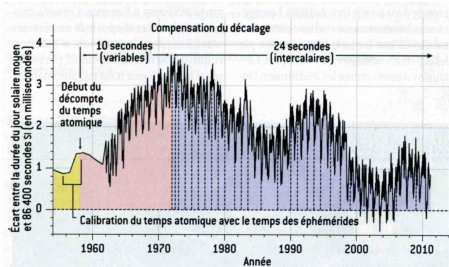
C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire
Clepsydra
Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?



Culture Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et

Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Le principe du GPS

Le principe du point en mer

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires
Clepsydres
Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

On pointe un objet (appelé AMER) qui permet de déterminer le lieu où l'on est comme intersection de 3 droites du plan de la carte avec un compas de relèvement .

Le principe du GPS

Le principe du point en mer

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

On pointe un objet (appelé AMER) qui permet de déterminer le lieu où l'on est comme intersection de 3 droites du plan de la carte avec un compas de relèvement .

Problème 1 : la mer cela bouge

Le principe du GPS

Le principe du point en mer

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

On pointe un objet (appelé AMER) qui permet de déterminer le lieu où l'on est comme intersection de 3 droites du plan de la carte avec un compas de relèvement .

Problème 1 : la mer cela bouge

Problème 2 : les cartes maritimes ne sont pas parfaites.

Problème 3 : le temps que l'on met à pointer sur les 3
AMERS : les 3 droites ne sont plus concourrantes !

Le principe du GPS

Le principe du point en mer

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

On pointe un objet (appelé AMER) qui permet de déterminer le lieu où l'on est comme intersection de 3 droites du plan de la carte avec un compas de relèvement .

Problème 1 : la mer cela bouge

Problème 2 : les cartes maritimes ne sont pas parfaites.

Problème 3 : le temps que l'on met à pointer sur les 3

AMERS : les 3 droites ne sont plus concourrantes !

TRIANGLE plus ou moins grand

Problème 4 : Il faut être en vue de la Terre !

Le principe du GPS

Une triangularisation dans l'espace

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Le boîtier GPS envoie 4 ondes vers les satellites qui couvrent la surface de la Terre .

Le principe du GPS

Une triangularisation dans l'espace

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Le boîtier GPS envoie 4 ondes vers les satellites qui recouvrent la surface de la Terre .

Chaque satellite et GPS possède une horloge atomique et les 4 horloges sont synchrones !

Le principe du GPS

Une triangularisation dans l'espace

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Le boîtier GPS envoie 4 ondes vers les satellites qui recouvrent la surface de la Terre .

Chaque satellite et GPS possède une horloge atomique et les 4 horloges sont synchrones !

Le temps mis par l'onde pour faire l'aller retour
satellite $\leftarrow$ — $\rightarrow$ GPS donne une distance

Le principe du GPS

Une triangularisation dans l'espace

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

Le boîtier GPS envoie 4 ondes sur les satellites qui recouvrent la surface de la Terre .

Chaque satellite et GPS possède une horloge atomique et les 4 horloges sont synchrones !

Le temps mis par l'onde pour faire l'aller retour
satellite $\leftarrow$ — $\rightarrow$ GPS donne une distance

Le lieu est l'intersection de 4 sphères .

Le principe du GPS

Une triangularisation dans l'espace

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrans solaires
Clepsydras
Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

4 horloges sont synchrones !

Le principe du GPS

Une triangularisation dans l'espace

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

4 horloges sont synchrones !

Nécessité de la connaissance très précise du temps

Le principe du GPS

Une triangularisation dans l'espace

Culture
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges
antiques aux
horloges
modernes

Cadrams solaires

Clepsydras

Sables et
Bougies

Calcul de la
longitude

Vous avez dit
GPS ?

4 horloges sont synchrones !

Nécessité de la connaissance très précise du temps

Nécessité de traitement numérique pour permettre le calcul en
temps direct