

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?

## Promenades Scientifiques : le temps retrouvé ?

A. Duittoz, C. Georgelin, L. Villain  
Année Universitaire 2014-2015

Parcours Métiers de l'enseignement

# Horloges Antiques

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?

- 1 Gnomon
- 2 Cadran solaire
- 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

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

# Cadrons solaires

## Plusieurs types

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

**Cadrons solaires**

Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?

# Cadran solaire

## Cadran Equatorial

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

**Cadran solaires**

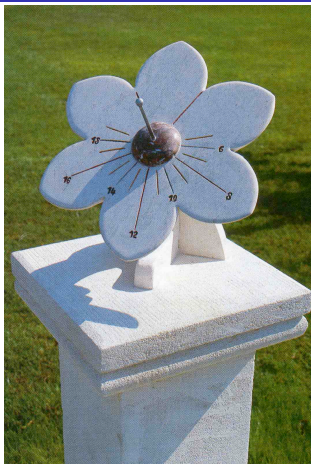
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?



Plan du Cadran parallèle à l'équateur

# Cadran solaires

## Cadran Equatorial

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaires

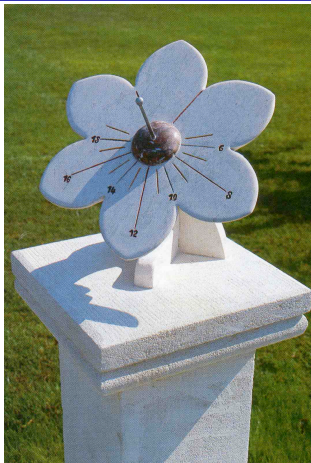
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?



Trajectoire du bout de l'ombre :

# Cadran solaire

Horizontaux/verticaux

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Equation du  
temps

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

Equation du  
temps

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

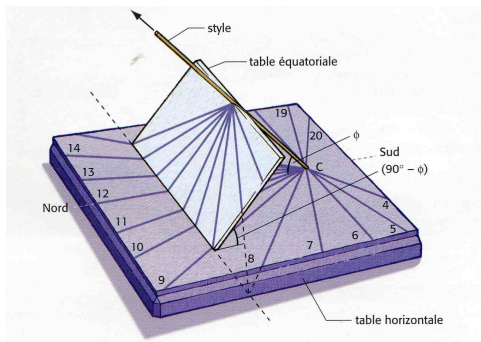
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?



Tout est une question de projection

# Cadran solaires

Polaires depuis 1470 ( Cathédrale Strasbourg 1493)

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

**Cadran solaires**

Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Equation du  
temps

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

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?



# Clepsydres

## Le principe

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

**Clepsydres**

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?

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

# Clepsydres

## Le principe

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadrans solaires

Clepsydres

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Equation du  
temps

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

Cadran solaire

**Clepsydras**

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

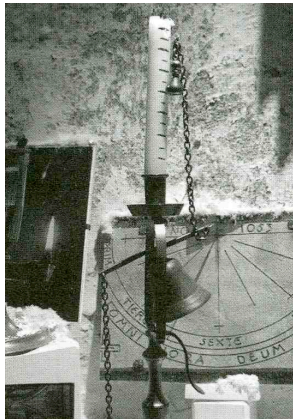
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?



# Sabliers

Un écoulement peu sensible à la pression

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Cadrams solaires  
Clepsydras  
Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?



# Are you Lost ?

## Un bâton et une montre ?

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire  
Clepsydra  
Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Cadrans solaires  
Clepsydras  
Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Cadrans solaires  
Clepsydras  
Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?

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

Pourquoi ?

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

# Jules Verne le savait

Extrait de l'Île Mystérieuse

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire  
Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?

Lorsqu'il pensa que le moment était arrivé, Cyrus Smith s'agenouilla sur le sable, et, au moyen de petits jalons de bois qu'il fichait dans le sable, il commença à pointer les décroissances successives de l'ombre de la baguette. [...] Le reporter tenait son chronomètre à la main, prêt à relever l'heure qu'il marquerait, quand l'ombre serait à son plus court. Les naufragés, qui n'avaient plus rien à leur arrivée sur l'île [15], avaient heureusement une montre, nous a dit Jules Verne au chapitre 6 :

# Jules Verne le savait

Extrait de l'Île Mystérieuse

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?

Ils n'avaient rien, sauf les habits qu'ils portaient au moment de la catastrophe. Il faut cependant mentionner un carnet et une montre que Gédéon Spilett avait conservée [...]

Montre soigneusement gardée à l'heure (de Washington) et grâce à laquelle ils ont su quelle heure il était à Washington lorsqu'il était midi sur leur île. Vingt-quatre heures pour 360 degrés... ils ont ainsi pu déterminer leur différence de longitude avec Washington, puis leur longitude... par rapport au méridien de Paris, qui était encore le méridien de référence en 1874 lorsque le livre est paru et qui l'est resté jusqu'en 1884 où celui de Greenwich l'a détrôné

Choix géopolitique, à un moment où la France était politiquement affaiblie.

# Méridien de référence : PARIS

C'est où ?

Le 21 juin 1667, on a choisi un point dans Paris et on a construit l'Observatoire de Paris. Le méridien est matérialisé par des colonnes



Aller lire la Conférence de Michèle Audin

« Géométrie, mesurer la terre, mesurer la Terre ? »

Images des Mathématiques, CNRS, 2009

<http://images.math.cnrs.fr/Geometrie-mesurer-la-terre-mesurer.html> Lire aussi celle de Damien Gayet

<http://images.math.cnrs.fr/Un-homme-a-la-mesure-du-metre-l.html>

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?

# Méridien de référence : PARIS ou Greenwich

Extrait du Trésor de Rackham le Rouge

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire  
Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?

Et Tintin et le Capitaine Haddock le savait-il ?

— Capitaine, nous sommes des ânes !...

— Que voulez-vous dire ?

— Voyons, capitaine, le méridien par rapport auquel vous avez compté les degrés de longitude, c'est naturellement le méridien de Greenwich ?...

— Evidemment, ce n'est pas celui de Tombouctou !

— Attendez ! Le chevalier de Haddock, lui, a certainement compté en prenant comme origine le méridien de Paris, qui est situé à plus de deux degrés à l'est du méridien de Greenwich !..

— Mille sabords !

# Méridien de référence : Paris ou Greenwich

Extrait du Trésor de Rackham le Rouge

Et Tintin et le Capitaine Hadock le savait-il ?

— Capitaine, nous sommes des ânes !...

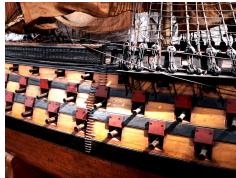
— Que voulez-vous dire ?

— Voyons, capitaine, le méridien par rapport auquel vous avez compté les degrés de longitude, c'est naturellement le méridien de Greenwich ?...

— Evidemment, ce n'est pas celui de Tombouctou !

— Attendez ! Le chevalier de Hadoque, lui, a certainement compté en prenant comme origine le méridien de Paris, qui est situé à plus de deux degrés à l'est du méridien de Greenwich !..

— Mille sabords !



# Are you Lost ?

## Longitude

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

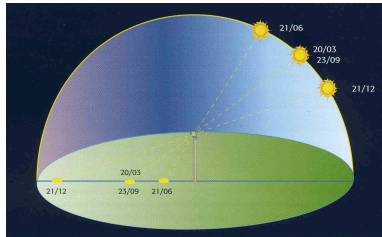
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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 solaires

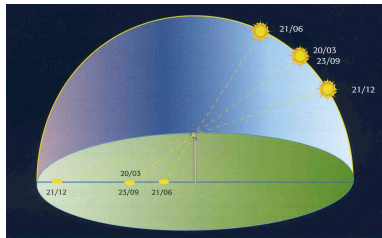
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Cadran solaires

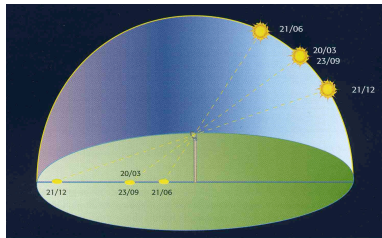
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Cadran solaires

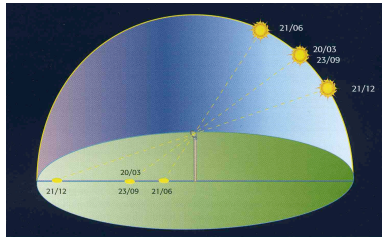
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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)

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

# Are you Lost ?

## Longitude

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaires

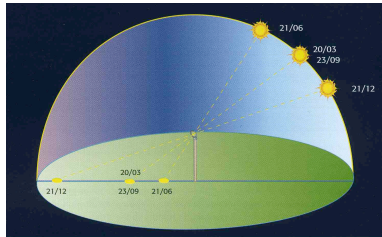
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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)

$H_m - 12h =$  Décalage horaire ....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  
5/04/15)

# Are you Lost ?

## Longitude

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaires

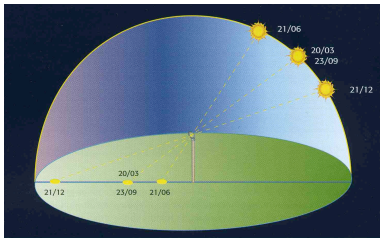
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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  
5/04/15)

# 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

Equation du  
temps

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  
Clepsydra  
Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Cadran solaire  
Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Equation du  
temps

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  
Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Equation du  
temps

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

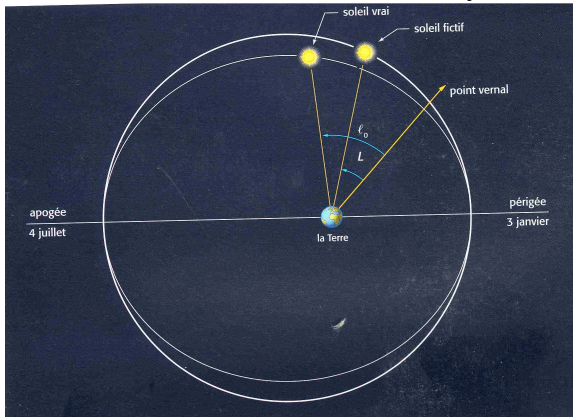
Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

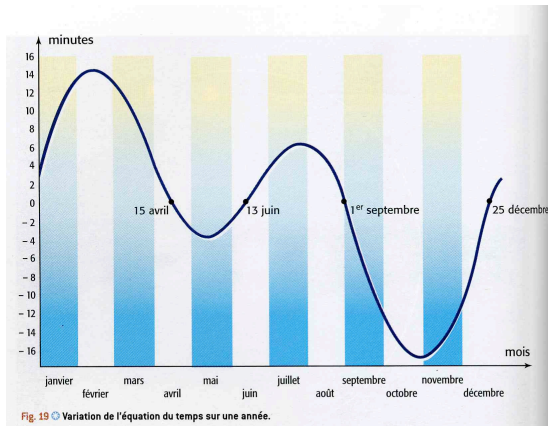
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Equation du  
temps

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

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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 indiquent qu'il est midi environ 11 mn avant le midi solaire vrai .

La matinée :  $18 - 11 = 7\text{mn}$

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

# Are you Lost ?

## Latitude

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

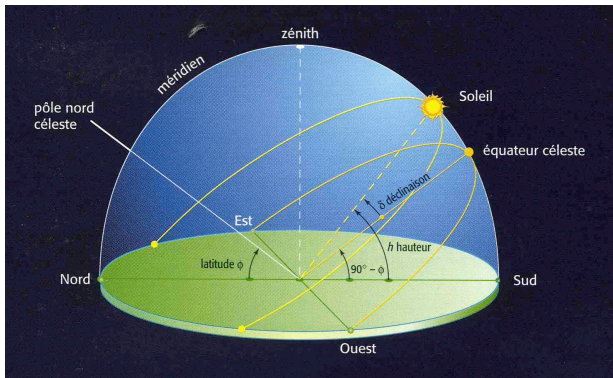
Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire  
Clepsydras  
Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?



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

# Are you Lost ?

Revenons au calcul de la Latitude

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

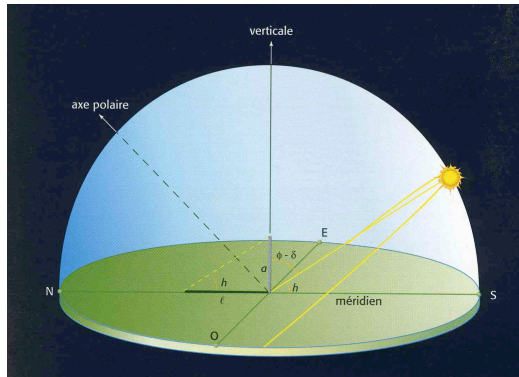
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?



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

$\phi$  : latitude du lieu

$\delta$  la déclinaison ....

# Are you Lost ?

Revenons au calcul de la Latitude

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

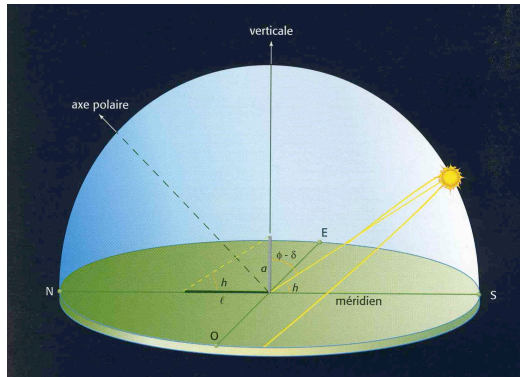
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?



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

$\phi$  : latitude du lieu

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

$h$  : la hauteur .....

# Are you Lost ?

Revenons au calcul de la Latitude

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

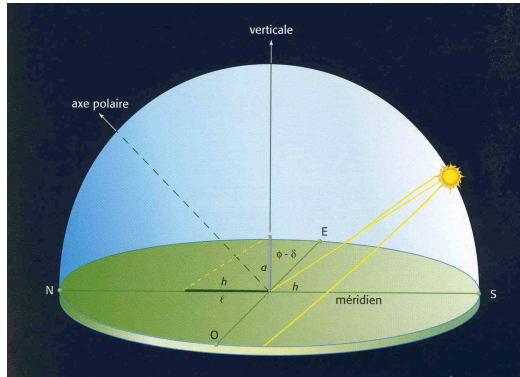
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?



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

$\phi$  : latitude du lieu

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

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

# 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

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?



Trajectoire du bout de l'ombre :

# 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

Equation du  
temps

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 :

# Cadran solaires

Retour sur une courbe



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

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?

# Cadrons solaires

Retour sur une courbe

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadrons solaires

Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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 :

# Cadran solaire

Retour sur une courbe

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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 :  $\phi = 90$

# Cadran solaire

Retour sur une courbe

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

# Are you Lost ?

## Latitude

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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  $\delta$ ...

# Are you Lost ?

Latitude

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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  $\delta$ ...

Instrument Antique : l'astrolabe

# Are you Lost ?

Latitude

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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  $\delta$ ...

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

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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  $\delta$ ...

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

Equation du  
temps

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

Equation du  
temps

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

Cadrans solaires

Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Equation du  
temps

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

Equation du  
temps

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

Mesurer la latitude en mer :

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

Octant puis sextant ~ 1700

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?

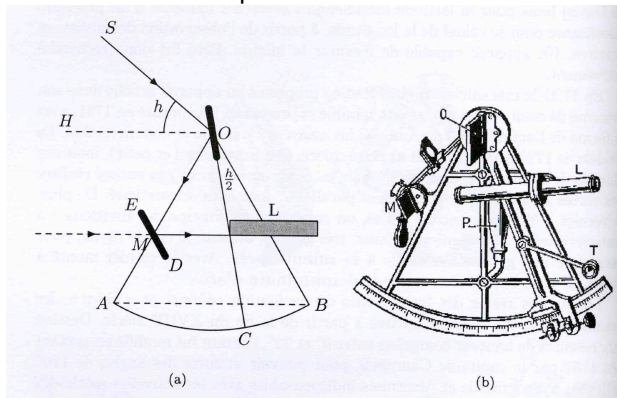
# L'enjeu économique du calcul de la longitude

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



Culture Scientifique

C. Georgelin

Des horloges antiques aux horloges modernes

Cadran solaire

Clepsydras

Sables et Bougies

Calcul de la longitude

Equation du temps

Vous avez dit GPS ?

# Mesurer la latitude en mer : Sextant

## le principe

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

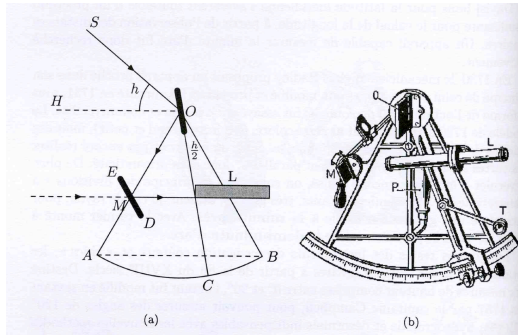
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?



Le " miroir" ED est parallèle au montant OB, AB // 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

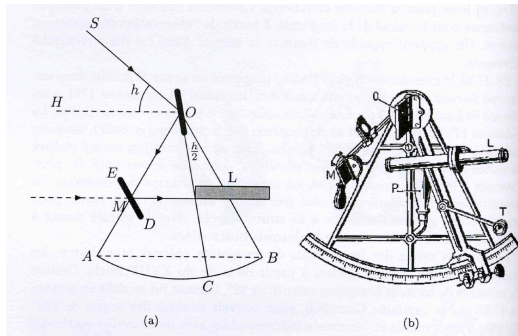
Cadran solaire  
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

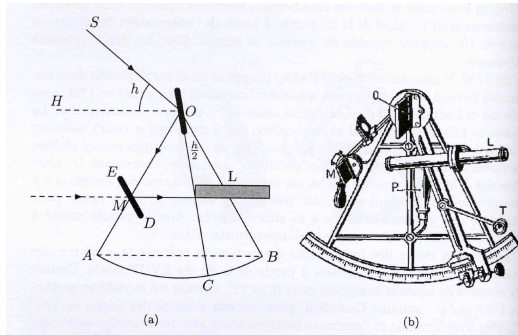
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?



Le " miroir" ED est parallèle au montant OB, AB // 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

# Mesurer la latitude en mer : Sextant

Composer des symétries....

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

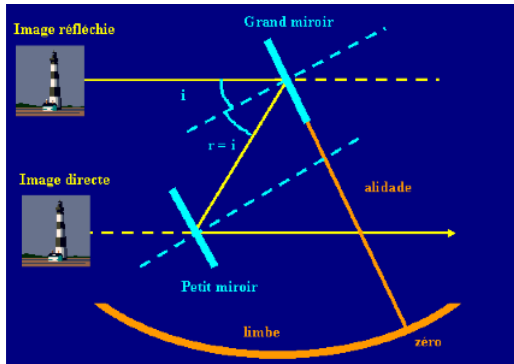
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?



Le "miroir" ED est parallèle au montant OB,  $AB \parallel$  Lunette)  
Composée de deux symétries avec droites parallèles :

# Mesurer la latitude en mer : Sextant

Composer des symétries....

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

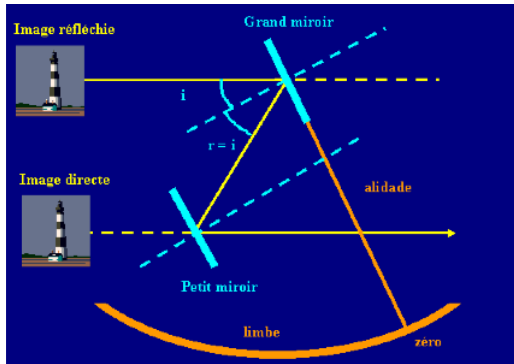
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?



Le "miroir" ED est parallèle au montant OB,  $AB \parallel$  Lunette)  
Composée de deux symétries avec droites parallèles :

**TRANSLATION**

# Mesurer la latitude en mer : Sextant

Composer des symétries....

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

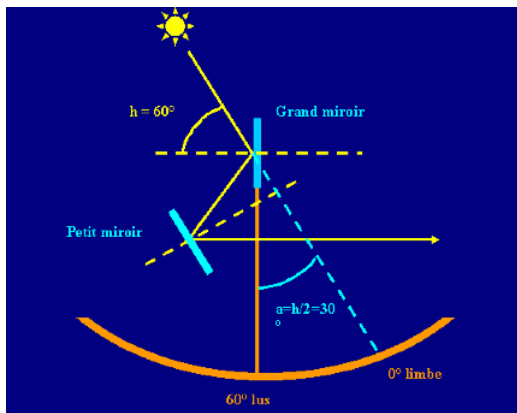
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?



Le grand miroir tourne d'un angle  $a$

# Mesurer la latitude en mer : Sextant

Composer des symétries....

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

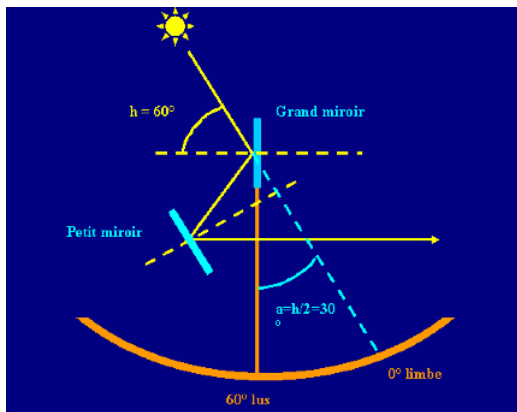
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?



Le grand miroir tourne d'un angle  $a$

Angle d'incidence  $i + a$  donc angle de sortie  $2i + 2a$ !

Composée de deux symétries avec droites d'angle  $a$  :

# Mesurer la latitude en mer : Sextant

Composer des symétries....

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

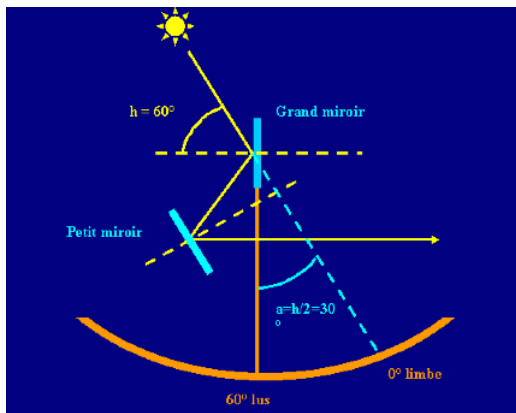
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?



Le grand miroir tourne d'un angle  $a$   
Angle d'incidence  $i + a$  donc angle de sortie  $2i + 2a$ !  
Composée de deux symétries avec droites d'angle  $a$  :  
**ROTATION** d'angle  $2a$

# 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

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?

Mesurer la 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

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?

Mesurer la 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

Cadran solaire

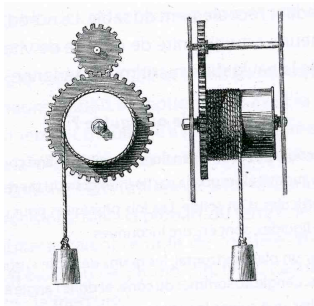
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

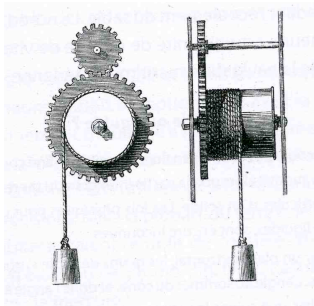
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?



Une masse entraîne 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

Cadran solaires

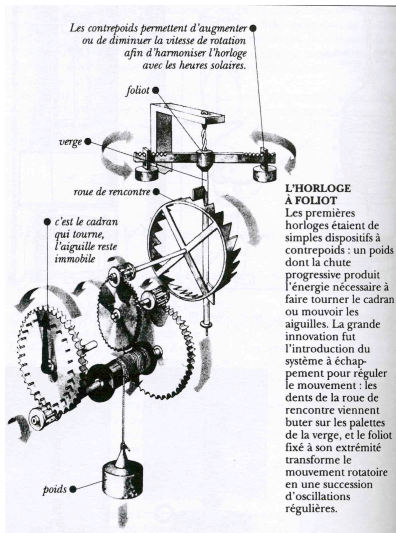
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Cadran solaires

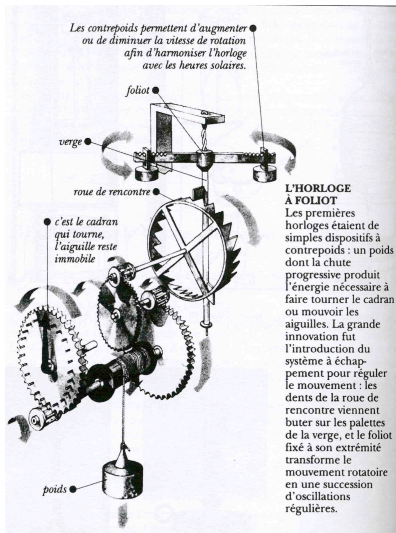
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Cadran solaire

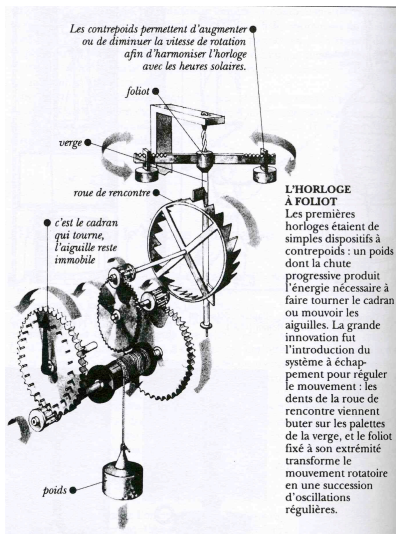
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

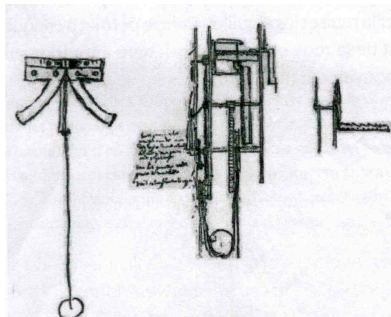
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

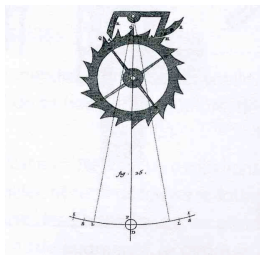
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?



Le mouvement du pendule libre "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

Equation du  
temps

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

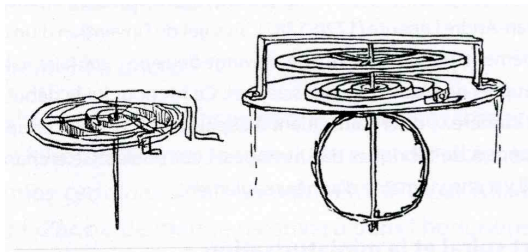
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Cadran solaire  
Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Cadrans solaires

Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Cadran solaire  
Clepsydra  
Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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 solaires

Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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 solaires

Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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 solaires

Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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 solaires

Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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 (1693-1783)

Ecole horlogère a gagné

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Cadran solaires

Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

# 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

Equation du  
temps

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 (1693-1783)

Ecole horlogère a gagné

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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 (1693-1783)

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

Equation du  
temps

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)

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

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

Equation du  
temps

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

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

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

Equation du  
temps

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 (1693-1777)

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

Equation du  
temps

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 **Eviter les frottements**

- $H_4$  : 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

Cadran solaire  
Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Equation du  
temps

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 **Eviter les frottements**

- $H_4$  : Diamant et Rubis **Diminuer encore les frottements**

- $H_4$  : Huile visqueuse **Toujours diminuer les frottements**

# Références

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?

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

# Horloges à Quartz

Principe : plus on bat vite moins on fait d'erreur sur la durée

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

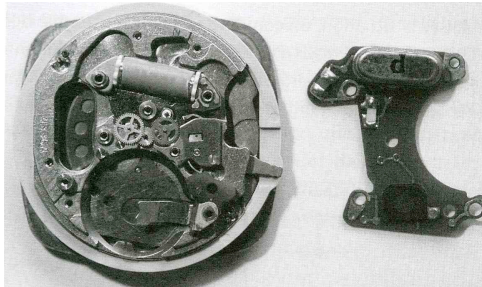
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?



Fréquence de résonance  $32768\text{Hz}$  :

# Horloges à Quartz

Principe : plus on bat vite moins on fait d'erreur sur la durée

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaires

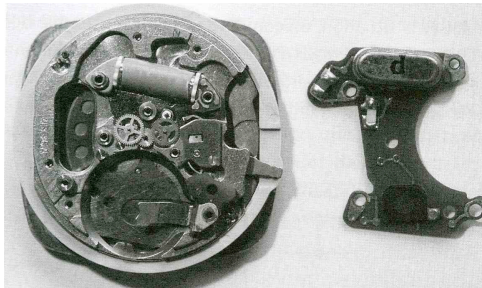
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?



Fréquence de résonance  $32768\text{Hz}$  :

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

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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 résonance via des ondes électromagnétiques

'

# Horloges atomiques

## Horloge au Césium (ref de La Souchière)

Culture  
Scientifique

C. Georgelin

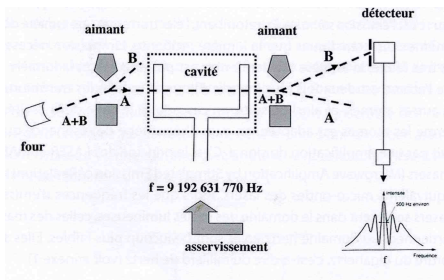
Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire  
Clepsydras  
Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Equation du  
temps

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

Equation du  
temps

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 solaires

Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Equation du  
temps

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  
Clepsydra  
Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Cadran solaire  
Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Cadrans solaires  
Clepsydras

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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.

# 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

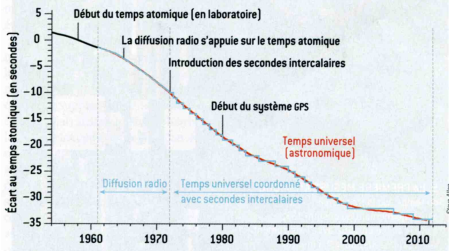
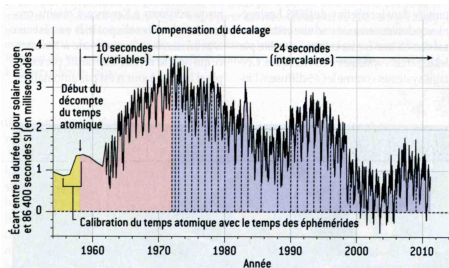
Clepsydras

Sables et Bougies

Calcul de la longitude

Equation du temps

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

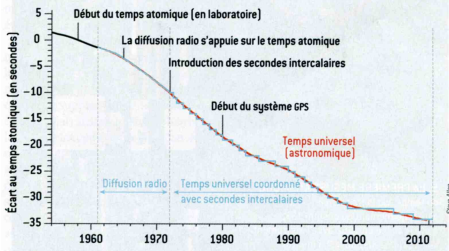
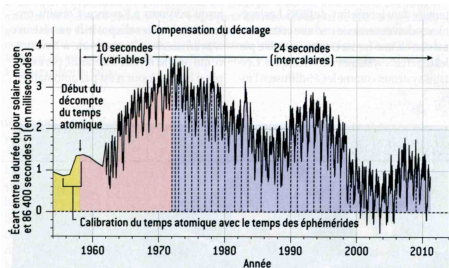
Clepsydras

Sables et Bougies

Calcul de la longitude

Equation du temps

Vous avez dit GPS ?



## Culture Scientifique

C. Georgelin

Des horloges  
antiques aux  
horloges  
modernes

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?

# 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

Equation du  
temps

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

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Equation du  
temps

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 concourantes !

# 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

Equation du  
temps

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

Equation du  
temps

Vous avez dit  
GPS ?

Le boîtier GPS envoie 4 ondes sur les satellites qui recouvrent 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

Equation du  
temps

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 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

Equation du  
temps

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

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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 < – > 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

Cadran solaire  
Clepsydra  
Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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

Cadran solaire

Clepsydra

Sables et  
Bougies

Calcul de la  
longitude

Equation du  
temps

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