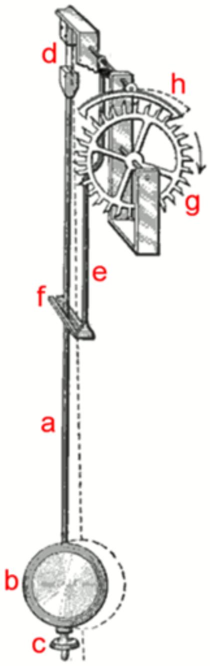
comprendre
temps et oscillateurs

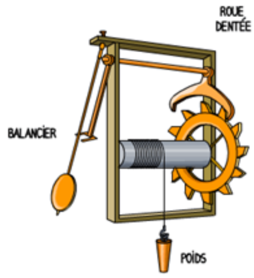
MESURES DE TEMPS

EXERCICE I : Horloge

Document 1 : Mécanisme d'une horloge ancienne



Balancier avec son échappement à ancre.
(a) tige de la pendule,
(b) balancier,
(c) écrou de réglage d'oscillation,
(d) ressort de suspension du balancier,
(e) béquille,
(f) fourche,
(g) rouage d'échappement,
(h) ancre.



Le mouvement du balancier est régulé et perpétué par un mécanisme appelé échappement, généralement de type « à ancre » ; l'échappement fournit les impulsions de comptage à la roue d'échappement, qui entraîne par engrenages la roue des secondes, puis celles des minutes et des heures.

L'entretien du mouvement était assuré, dans les anciennes pendules, par la descente d'un contrepoids lié à un tambour par l'intermédiaire d'une chaînette ou d'une cordelette. Il fallait périodiquement remonter ce contrepoids.

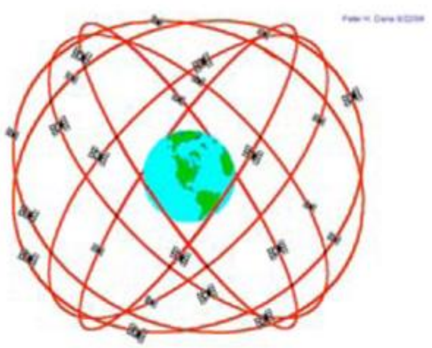
L'entraînement par détente d'un ressort est actuellement préféré en raison de son moindre encombrement ; ce ressort se « remonte » également avec une clé.

1- Sachant que la période d'oscillation d'un pendule est proportionnelle à la racine carrée de sa longueur, inversement proportionnelle à la valeur du champ de pesanteur local et proportionnel à 2π, Exprimer la période T du pendule et- vérifier par un analyse dimensionnelle.
2- Déterminer la longueur du pendule battant la seconde sachant que la valeur du champ de pesanteur vaut 9.81 m/s² . (un pendule bat la seconde si sa période est T=2s)
3- A quoi sert le l'écrou (c) ? Quel est le rôle du dispositif (g) ?
4- Quels transferts d'énergie ont lieu au cours des oscillations du pendule.
5- Une telle horloge peut-elle servir d'étalon de temps ?

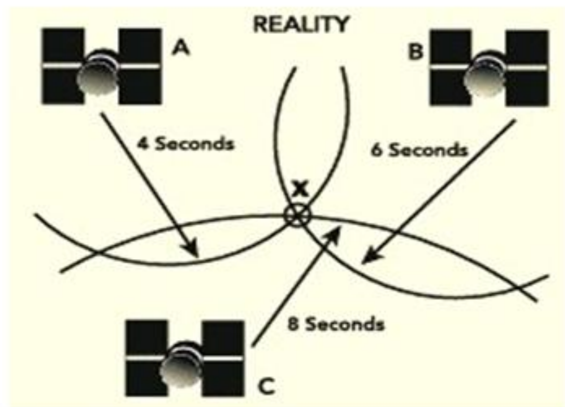
EXERCICE 2 : temps atomique

document 1 : GPS

- GPS est l'acronyme de Global Positionning System
- 24 satellites minimum (à 22 200 km d'altitude)
- Précision de l'ordre de 5 m (pour les civils)
- Fonctionne mal aux pôles et en terrain couvert
- Opérationnel depuis 1995



Le système GPS de l'armée américaine.



Triangulation simplifiée à partir de trois satellites. La position du récepteur est notée « x ».

Un récepteur GPS contient une horloge exacte à la nanoseconde (10^{-9}s).
Le positionnement GPS s'effectue en mesurant le temps que mettent les signaux radio émis par plusieurs satellites pour atteindre le récepteur. Les ondes radio, se propageant à la vitesse de la lumière (299 792 458 $m.s^{-1}$), on connait donc les distances qui séparent le récepteur de chacun des satellites.
La position (à un mètre près !) de chacun des satellites est calculée par le récepteur qui reçoit tous les quarts d'heure les tables d'éphémérides qui contiennent les paramètres nécessaires au calcul exact des trajectoires.
Le récepteur calcule, par triangulation dans l'espace-temps, les quatre coordonnées de sa position à partir des signaux qu'il reçoit d'au moins quatre satellites. Il détermine ainsi sa situation géographique (latitude, longitude et altitude) ainsi que l'heure. La précision atteinte est l'ordre du mètre pour les distances et de la nanoseconde pour le temps.

Chaque satellite contient plusieurs horloges atomiques de très haute précisions (valant chacune plusieurs millions d'euros) qui se surveillent mutuellement. Toutes ces horloges embarquées sont synchronisées entre elles par les stations terrestres de contrôle. Elles sont donc parfaitement à l'heure.
L'horloge situé dans le récepteur est moins précise (et moins chère !) mais elle s'auto-synchronise en permanence avec les horloges atomiques des satellites. Elle acquiert donc une exactitude apparente de l'ordre de 10^{-9} s.

Document 2 : le mètre

En 1983, deux décisions importantes ont été prises lors de la tenue du Bureau international des poids et mesures :

- La célérité de la lumière dans le vide a été fixée à la valeur exacte suivante : **c = 299 792 458 m.s^{-1}**

Le mètre est la distance parcourue par la lumière dans le vide en 1/299792458 seconde.

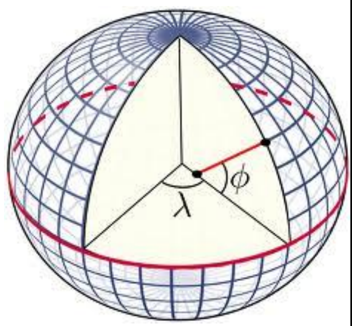
Des horloges plus ou moins précises…

Soit τ la durée mesurée par une horloge et $\Delta\tau$ l'erreur commise sur cette mesure. D'autre part, le mètre, unité de mesure de longueur du système international, autrefois défini comme la distance
Soit τ la durée mesurée par une horloge et $\Delta\tau$ l'erreur commise sur cette mesure. Voici les erreurs relatives commises par deux horloges différentes : **Horloge à quartz : $\Delta\tau/\tau = 10^{-6}$** **Horloge à fontaine atomique : $\Delta\tau/\tau = 10^{-16}$**

1. Pourquoi ne doit-on pas considérer le nombre de chiffres significatifs de la valeur de la vitesse de la lumière pour estimer sa précision ?
2. Rappeler la nouvelle définition du mètre ? Pourquoi ne pas avoir conservé l'ancienne ?
3. Expliquer pourquoi on peut dire que la définition du mètre dérive de celle de la seconde ?
4. Déterminer l'incertitude sur le mètre défini à partir d'une horloge à quartz puis à partir d'une horloge à fontaine atomique.
5. Conclure en expliquant pourquoi l'invention d'horloges les plus précises possibles est nécessaire
6. Expliquer en quelques lignes la méthode du positionnement GPS.
7. Calculer les distances séparant les satellites A,B,C du récepteur « x » présentées sur l'illustration.
8. Expliquer la nécessité de mesurer les temps de parcours des ondes radio émises par les satellites avec la plus grande précision possible.
9. Quel type d'horloge est embarqué dans les satellites de géolocalisation ? Pourquoi ?

EXERCICE 3 : avant le GPS

Pour déterminer la position d'un lieu sur Terre, il faut déterminer sa latitude, sa longitude et son altitude.
La **latitude** d'un lieu est l'angle, mesuré à partir du centre de la Terre, entre le lieu considéré et l'équateur terrestre. Elle correspond donc au positionnement nord-sud. Cette mesure est relativement simple Sur Terre, elle peut être réalisée à l'aide d'un gnomon. Les marins, au 19e siècle, utilisaient un sextant.
La **longitude** d'un lieu est l'angle, mesuré à partir du centre de la Terre, entre le lieu considéré et le méridien de Greenwich. Elle correspond donc au positionnement est-ouest. 1 degré de longitude correspond à un intervalle de temps de 4 minutes.
Cette mesure est bien plus complexe puisqu'elle nécessite la conservation de l'heure du méridien d'origine. Par conséquent, pendant longtemps les marins n'ont pas su déterminer leur longitude avec précision. Il faut savoir qu'au 17e siècle, l'erreur d'une montre à ressort était de l'ordre d'une heure par jour. Il était donc primordial d'obtenir l'heure avec une meilleure précision. En effet, il faut savoir qu'une minute d'erreur sur le temps correspond à une erreur de 27 km sur la localisation. L'amiral anglais Sir Cloudsley Shovel en fit la triste expérience : le 22 octobre 1707, le HMS Association heurta un rocher au large des Iles Sorlingues et coula en quelques minutes. Tous les membres de l'équipage, soit près de 2000 marins, périrent ce soir-là suite à une mauvaise estimation de la longitude.



Ce désastre, qui fût l'un des plus importants de l'histoire maritime britannique, poussa le gouvernement britannique à voter en 1714 une loi, le Longitude Act, permettant d'offrir un prix de 20 000 livres à celui qui serait capable de déterminer la longitude à ½ degré près. C'est John Harrison, un horloger britannique, charpentier de formation, qui remporta ce prix en 1764. Le 4e prototype de son chronomètre de marine parvenait à donner l'heure avec une précision de 5 secondes sur 81 jours de traversée.

1- Montrer que 1° de longitude correspond à 4 minutes de temps.
2- Montrer qu'à l'équateur une erreur d'une minute correspond à une distance d'environ 27 km (circonférence de la Terre : 40000 km)
3- Le chronomètre de marine de Harrison permettait quelle précision en distance au bout de 81 j ? Calculer le $\Delta\tau/\tau$ pour ce chronomètre