

MESURER LE TEMPS AVEC LES ATOMES



Capacité(s) contextualisée(s) mise(s) en jeu durant l'activité :

- ✓ Extraire et exploiter des informations relatives à la mesure du temps pour justifier l'évolution de la définition de la seconde.
- ✓ Extraire et exploiter des informations sur l'influence des phénomènes dissipatifs sur la problématique de la mesure du temps et la définition de son unité.
- ✓ Extraire et exploiter des informations pour justifier l'utilisation des horloges atomiques dans la mesure du temps.

But

- Découvrir l'évolution des techniques de mesure du temps.

Documents

(s'approprier)

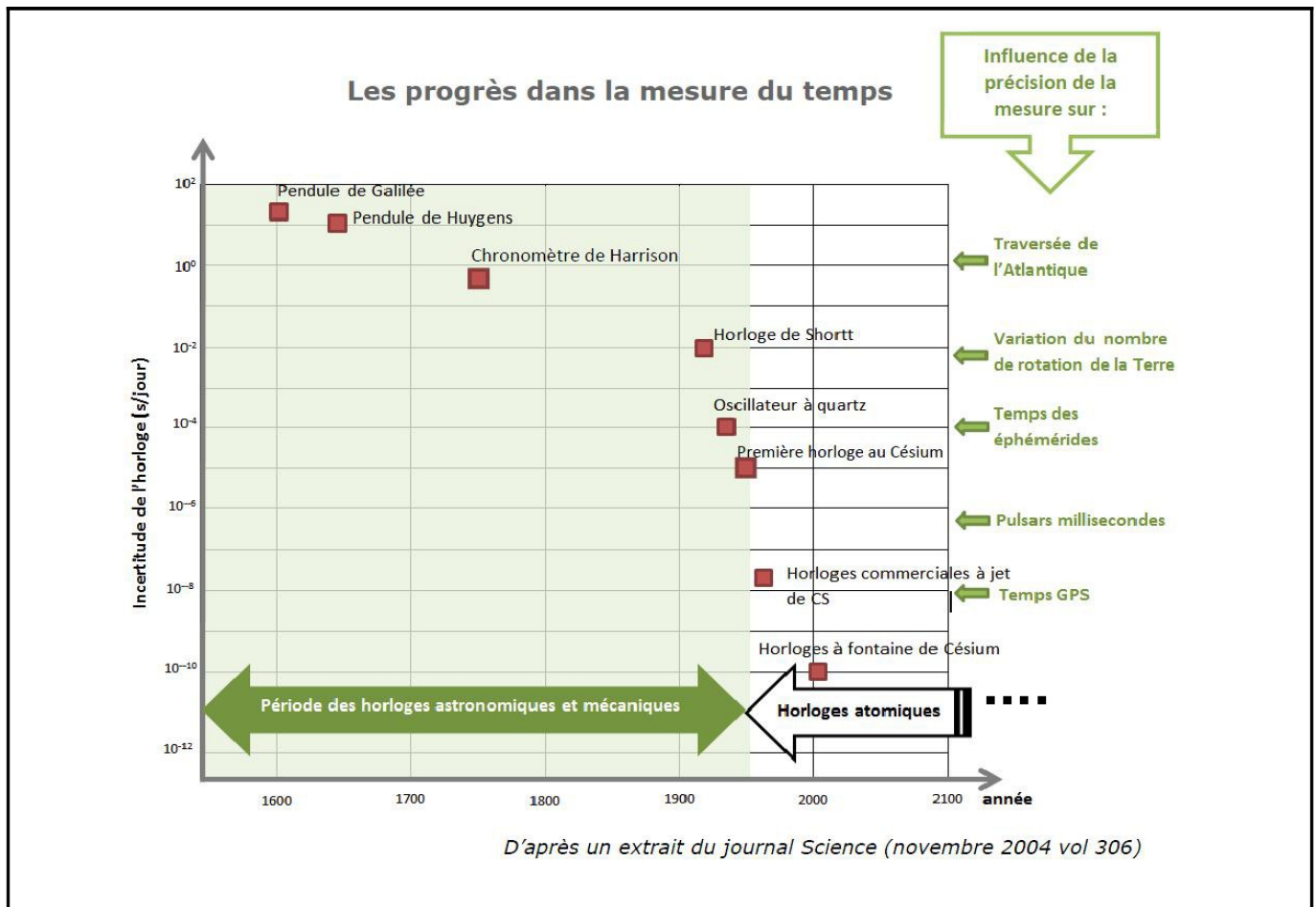


Doc 1 : La quête de la précision

Depuis l'Antiquité, les hommes ont cherché à mesurer le temps ou, plus précisément, les intervalles de temps. Ils se sont d'abord tournés vers les phénomènes naturels qui présentent une grande régularité comme la rotation de la Terre autour du Soleil, celle de la Lune autour de la Terre ou encore celle de la Terre sur elle-même pour définir des calendriers et des échelles de temps. Ils ont ensuite cherché à réaliser eux-mêmes des instruments toujours plus précis et l'un des plus anciens instruments connus est le sablier égyptien. Cependant, il faudra attendre la découverte de l'isochronisme du pendule par Galilée, au début des années 1600, et sa mise en pratique par le physicien néerlandais Christiaan Huygens quelques décennies plus tard, pour que ces instruments commencent à atteindre une précision de l'ordre de quelques dizaines de secondes par jour.

Extrait de C. SALOMON, XV séminaire Poincaré, « Le Temps ».

La définition de la seconde a évolué au cours du temps. Avec l'avènement des mesures astronomiques, les astronomes se sont aperçus que la rotation de la Terre autour de son axe n'était pas uniforme. Sa vitesse diminue sensiblement et, de fait, la durée des jours augmente. Ce ralentissement est principalement généré par l'effet des marées. Sous l'action des forces exercées essentiellement par la Lune, la Terre se déforme. Il apparaît des bourrelets océaniques créant des frottements qui ralentissent sa rotation. Dans les années 1960, la définition de la seconde comme étant $1/86\,400^{\text{e}}$ du jour solaire moyen est donc abandonnée. Aujourd'hui, la seconde est définie comme la durée nécessaire pour qu'il se produise 9 192 631 770 oscillations au sein de l'atome de césium 133. On parle de temps atomique.



Doc 2 : Le pendule de Huygens

Huygens cherchait la manière de fabriquer une horloge régulée par un pendule simple. Le problème étant que le pendule n'est pas parfaitement isochrone ; la période dépend un peu de l'amplitude. Il proposa de réduire la longueur utile du pendule en fonction de l'amplitude, en utilisant un ruban lié à une masse, le ruban s'enroulant autour de deux flasques symétriques de forme adéquate. L'étude du problème l'amena à montrer que le pendule devenait isochrone s'il parcourait une cycloïde et que pour parcourir une cycloïde, les flasques devaient avoir la même forme que la trajectoire.



Le système ne fut jamais exploité à grande échelle car on peut obtenir l'isochronisme plus simplement en imposant une amplitude constante et faible au pendule ce qui est obtenu par l'échappement à ancre.

Animations :

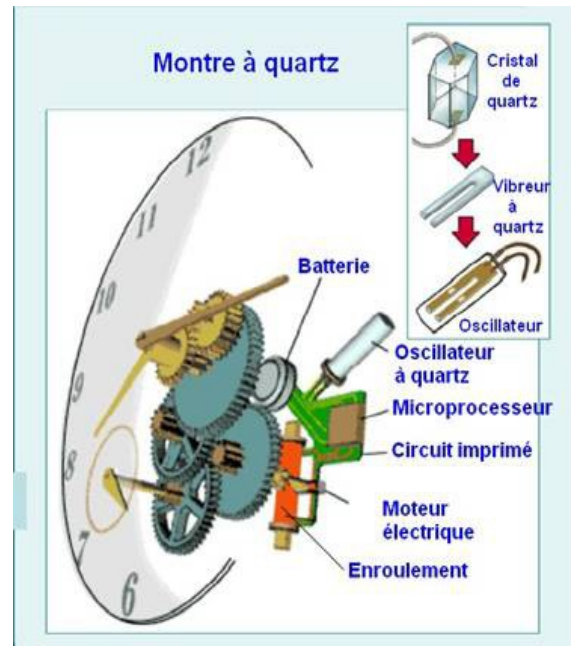
<http://www.edumedia-sciences.com/fr/a561-horloge-mecanique>

http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/Meca/Oscillateurs/pend_cyclo.html

Doc 3 : Fonctionnement des montres à quartz

Leur fonctionnement est basé sur l'intégration d'une lamelle de quartz. Stimulé électriquement, le quartz, substance minérale composée d'atomes de silice, oscille à une fréquence précise. Un choc sur le cristal crée des vibrations mécaniques, qui causent elles-mêmes des charges électriques. Ces vibrations, associées à un moteur synchrone, engendrent l'oscillation. En revanche, leur fréquence reste stable seulement si le cristal conserve sa dimension. Or, celle-ci peut varier en raison de la température, d'où la nécessité de l'isoler correctement.

Cette propriété du quartz, qu'on appelle l'effet piézoélectrique, est découverte en 1880 par les physiciens Pierre et Jacques Curie. En 1927, Warren Marrison invente la première horloge à quartz. Ces dimensions sont celles d'un réfrigérateur. La miniaturisation du dispositif aboutit en 1967 à l'apparition de la première montre-bracelet. Une petite pile fournit l'énergie électrique qui, via un circuit intégré, fait régulièrement vibrer le quartz plus de 32 000 fois par seconde. Pour une montre à quartz dotée d'aiguille, les impulsions électriques ont pour effet de décaler l'aiguille. Pour une montre à quartz à affichage digital, les impulsions envoyées vers l'écran, rendent opaques les cristaux qu'elles traversent. Ce type de garde-temps est d'une redoutable précision : il ne perd qu'une seconde en six ans. À titre de comparaison, une montre mécanique se décale de quatre secondes par mois.



http://www.futura-sciences.com/fr/definition/t/maison-2/d/montre-a-quartz_11091/

Doc 4 : Principe des horloges atomiques

Un atome peut exister sous différents niveaux d'énergie. Ces énergies ne peuvent prendre que des valeurs bien précises, caractéristiques de la nature de l'atome. Pour passer d'un niveau d'énergie à un autre, l'atome reçoit ou émet un photon dont l'énergie correspond exactement à la différence d'énergie entre les deux niveaux.

Puisque les différences d'énergie entre les états d'un atome ont des valeurs parfaitement définies, il en est de même de la fréquence, donc de la période de l'onde électromagnétique associée au changement de niveau. Un horloge atomique utilise la période de cette onde électromagnétique. Le signal utile d'une horloge atomique est le signal délivré par un oscillateur macroscopique à quartz, contraint d'osciller à la fréquence du rayonnement échangé par l'atome de césium 133 lors d'une transition électronique entre deux niveaux d'énergie particuliers. Cette fréquence vaut 9 192 631 770 Hz. On utilise donc des atomes de césium qui contrôlent et ajustent la fréquence générée par le quartz.



Le césium a plusieurs caractéristiques qui justifient son utilisation :

- le césium est un atome stable et simple à manipuler ;
- a l'état naturel, il n'existe qu'un seul isotope du césium. La fréquence du rayonnement échangé entre les deux niveaux particuliers est donc la même pour tous les atomes ;
- cette fréquence est grande (10^{10} oscillations par seconde), ce qui permet d'avoir une horloge d'une grande précision.

Les horloges les plus récentes ont des fréquences encore plus élevées (10^{15} Hz). Elles sont devenues meilleures que les horloges au césium et il faudra, à l'avenir, changer la définition de la seconde.

Quelques questions :

1. Donner des exemples de phénomènes physiques utilisés pour définir une mesure du temps.
2. Quel est le paramètre commun à tous ces phénomènes physiques ?
3. Pourquoi parle-t-on de jour solaire moyen ?
4. Quels sont les phénomènes dissipatifs évoqués dans les documents ci-dessus ?
5. Pourquoi sont-ils qualifiés de « dissipatifs » ?
6. En quoi ces phénomènes sont-ils un frein à l'utilisation des systèmes mécaniques pour mesurer le temps ?
7. Justifier l'utilisation des horloges atomiques pour la définition de la seconde.

Conclusion :

(analyser, valider, communiquer)



A l'aide des documents précédents, rédiger une synthèse argumentée expliquant l'évolution des techniques de mesure du temps.



Pour les plus curieux...

Mission PHARAO

<http://www.youtube.com/watch?v=JnJfTKjBOJg>