

# LE TEMPS ET SA MESURE

Définition du temps atomique.

Extraire et exploiter des informations pour justifier l'utilisation des horloges atomiques dans la mesure du temps.  
Extraire et exploiter des informations relatives à l'évolution de la mesure du temps et de la définition de la seconde.  
Notion d'irréversibilité.

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.

---

**Consigne : à l'aide des documents et en utilisant vos connaissances, rédiger, en 30 lignes maximum, une synthèse argumentée de la proposition suivante :**

**« En physique le concept de temps se concrétise par sa mesure, la définition de son unité et la conquête historique de la fiabilité des instruments. »**

---

## 1. LE CONCEPT DE TEMPS

*Qu'est-ce donc que le temps ? Si personne ne me le demande, je le sais. Mais si on me le demande et que je veuille l'expliquer, je ne le sais plus. Pourtant, je le déclare hardiment, je sais que si rien ne passait, il n'y aurait pas de temps passé ; que si rien n'arrivait, il n'y aurait pas de temps à venir; que si rien n'était, il n'y aurait pas de temps présent. Les Confessions, Augustin d'Hippone (354-430)*

***C'est le meilleur moyen qu'a trouvé la nature pour que tout ne se passe pas d'un seul coup !***

ARISTOTE (-384, -322)

« Le temps est le nombre du mouvement selon l'antérieur et le postérieur. »

La notion de temps est un corollaire de la notion de mouvement : le mouvement se fait dans la durée et si le temps venait à s'arrêter plus rien ne bougerait.

NEWTON ((1643, 1727)

« Le temps absolu, vrai et mathématique, en lui-même et de sa propre nature, coule uniformément sans relation à rien d'extérieur. »

Le temps est une sorte d'absolu, contenant universel dans lequel tout doit se ranger. Mais à cette conception du temps s'oppose le fait que le temps ne s'appréhende toujours qu'à travers des phénomènes particuliers ;

KANT (1724, 1804)

« Le temps n'est autre chose que la forme du sens interne, c'est-à-dire de l'intuition de nous-mêmes et de notre état intérieur. En effet, le temps ne peut pas être une détermination des phénomènes extérieurs, il n'appartient ni à une figure, ni à une position, etc.; au contraire, il détermine le rapport des représentations dans notre état interne.»

## 2. HISTOIRE DE LA MESURE DU TEMPS      Comment mesurer le temps ?

**Utiliser la répétition de phénomènes naturels périodiques : alternance du jour et de la nuit, cycle des saisons, phases de la Lune.**

**Observer l'ombre d'un bâton planté dans le sol (gnomon ou cadran solaire).**

**Utiliser un réservoir d'eau ou de sable qui se vide régulièrement (clepsydre ou sablier).**

**Utiliser un oscillateur mécanique, un circuit électrique ou un dispositif électronique qui oscille à une fréquence connue.**

Les premières horloges mécaniques apparaissent au XIV<sup>e</sup> siècle. Au début, elles sonnent les cloches, n'ont pas de cadran et, lorsqu'elles en seront dotées au XV<sup>e</sup> siècle, il n'y aura qu'une

aiguille, celle des heures. Ces premières horloges consistent schématiquement en un poids moteur qui entraîne un train d'engrenages, lequel fait accessoirement tourner la ou les aiguilles. Le tout ne constitue une horloge que si l'on sait réguler la chute du poids. C'est l'apparition de l'échappement qui va transformer ce simple assemblage d'engrenages en véritable horloge. L'échappement permet alternativement de libérer puis de bloquer la chute du poids, grâce à un mécanisme oscillant.

En 1638 Galilée publie la théorie du pendule et imagine la première horloge à pendule et poids. **La descente du poids (énergie potentielle de pesanteur) permet d'entretenir les oscillations en compensant l'amortissement.** La longueur du pendule doit être soigneusement étalonnée puisque la période dépend également du lieu d'utilisation.

### 3. AMORTISSEMENT ET ENTRETIEN DES OSCILLATEURS

#### Horloge à balancier (pendule) : Galilée, Huygens (17<sup>ème</sup> siècle)

Pour entretenir des oscillations d'amplitude constante malgré les forces de frottement il faut restituer à l'oscillateur l'énergie qu'il perd. Dans le cas d'une **horloge à balancier**, une roue dentée relance le pendule à chaque demi-oscillation. La roue dentée tourne grâce à la **descente d'une masse** qu'il faut périodiquement remonter. La réserve d'énergie dans laquelle puise le pendule est donc constituée par l'énergie potentielle de cette masse.

#### Horloge à quartz : (Warren Marrison, 1927)

##### *L'effet piézoélectrique (Pierre et Jacques Curie, 1880)*

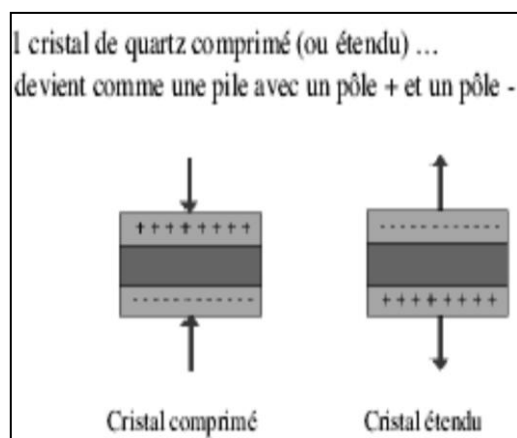
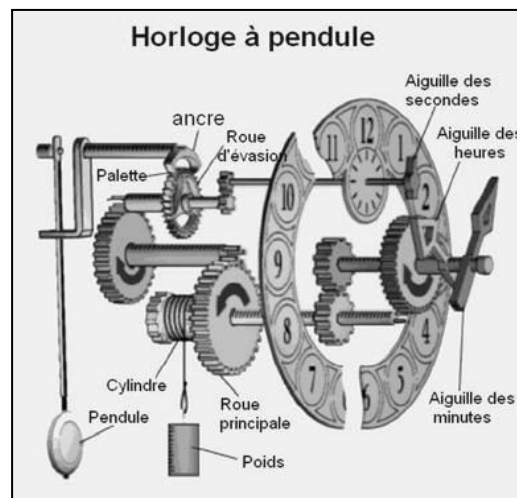
Certains cristaux soumis à des contraintes (pressions, déformations) voient des charges s'accumuler sur leur surface, créant ainsi un champ électrique. Inversement, ces mêmes cristaux, placés dans un champ électrique oscillant, voient leur forme se modifier et vont se mettre à vibrer. L'effet est amplifié et devient sensible seulement lorsque la fréquence des oscillations correspond à celles du quartz. Il y a alors résonance entre l'excitateur et le quartz.

##### *Principe de fonctionnement de l'horloge à quartz :*

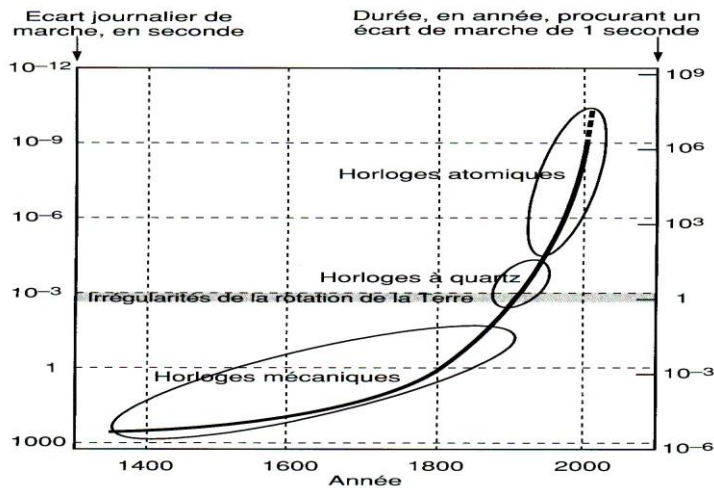
- Un oscillateur électrique crée un signal électrique de fréquence réglable qui agit sur le cristal de quartz.
- Celui-ci va vibrer et émettre un signal électrique à son tour.
- Ce signal va alimenter un circuit électrique de « régulation » qui va modifier la fréquence de l'oscillateur pour l'accorder sur celle du quartz. Il y a alors résonance, et amplification des effets ; la résonance est obtenue pour  $f = 32768\text{Hz}$ .

- Pour finir, un circuit intégré divise cette fréquence pour obtenir une fréquence de 1 Hz.

Les montres électroniques actuelles utilisent toutes un résonateur à quartz en forme de diapason, oscillant à 32768 Hz. L'amortissement des vibrations du quartz est donc compensé par l'excitateur électrique dont la source énergétique est une pile. Le facteur de qualité d'un tel résonateur atteint 300 000 et la puissance électrique nécessaire à son entretien est réduite à quelques nano-watts seulement.



## 4. EVOLUTION DE LA QUALITE DES HORLOGES



Evolution de la qualité des horloges artificielles et comparaison avec l'horloge « rotation terrestre ».

## 5. L'UNITE DE TEMPS

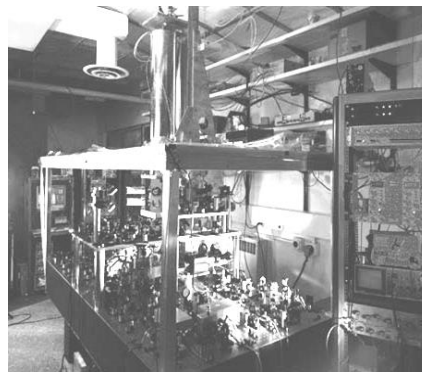
La définition de la seconde, l'unité SI de temps, a été établie selon les connaissances et les possibilités techniques de chaque époque.

- Elle a d'abord été définie comme la fraction  $\frac{1}{86400}$  du jour solaire terrestre moyen.
- En 1956, pour tenir compte des imperfections de la rotation de la Terre qui ralentit notamment à cause des marées, elle a été basée sur la révolution de la Terre autour du Soleil et définie comme la fraction  $\frac{1}{31\,556\,925,9747}$  de l'année tropique 1900.
- Depuis la 13<sup>e</sup> Conférence générale des poids et mesures, la seconde n'est plus définie par rapport à l'année, mais par rapport à une propriété de la matière ; cette unité de base du système international a été définie en 1967 dans les termes suivants :

**La seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les niveaux hyperfins F=3 et F=4 de l'état fondamental  $^6S_{1/2}$  de l'atome de césium 133.**

[http://www.bipm.org/fr/si/si\\_brochure/chapter2/2-1/2-1-1/second.html](http://www.bipm.org/fr/si/si_brochure/chapter2/2-1/2-1-1/second.html)

[http://www.bipm.org/fr/practical\\_info/time\\_server.html](http://www.bipm.org/fr/practical_info/time_server.html)



L'horloge atomique à fontaine d'atomes de césium NIST-F1. Cette horloge est l'étalon primaire de temps et de fréquence des États-Unis, avec une incertitude de  $5 \cdot 10^{-16}$  (en 2005).

## 6. APPLICATIONS

Le **Temps atomique international** est la référence mondiale fondée sur la définition de la seconde atomique, calculée au Bureau international des poids et mesures à Sèvres, en faisant la moyenne de plus de 300 horloges atomiques [349, décembre 2008] à travers le monde. En France, le temps légal repose sur les lectures d'une vingtaine d'horloges atomiques.

Outre servir à définir une référence chronologique universelle, les horloges atomiques sont également employées dans les technologies de **positionnement géographique**. Les satellites de la constellation GPS, du système GLONASS ou ceux du programme GALILEO, embarquent chacun plusieurs horloges atomiques, jusqu'à 4 pour les satellites GPS.

Les horloges atomiques sont aussi utilisées dans les réseaux de télécommunications pour fournir un signal de référence aux oscillateurs internes des équipements, afin d'assurer une qualité de transmission des services en accord avec les normes internationales. On utilise soit les signaux directement produits par des horloges atomiques soit les signaux élaborés à partir des émissions des satellites de la constellation GPS qui ont la stabilité des horloges atomiques embarquées.