

LYCÉE
saint
VINCENT
paul

Classe de : Terminale S

Thème 2 : COMPRENDRE
Lois et modèles

Activité documentaire : Précision de la mesure du temps

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

1 Évolution historique de la définition de la seconde

Trois définitions de la seconde se sont succédé, liées aux progrès des instruments de mesure du temps et à l'évolution des besoins en précision (Fig. 1).

Date	Avant 1956	Entre 1956 et 1967	Depuis 1967
Définition	La seconde est égale à $1/86400$ du jour solaire terrestre moyen.	La seconde est égale à $1/31556925,9747$ de l'année tropique 1900, c'est-à-dire de la durée écoulée entre deux équinoxes de printemps en 1900.	La seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133.
Commentaire	Le jour solaire fluctue, ce qui rend instable sa moyenne (Fig. 2).	Cette échelle, très stable (écart d'une seconde en 10 ans), fut rapidement supplantée.	Des horloges atomiques disséminées dans le monde entier donnent une référence universelle du temps.

Fig. 1 Définitions de la seconde.

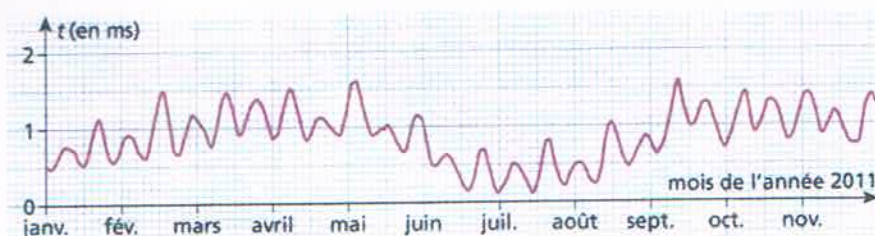


Fig. 2 Excès du jour solaire constaté en 2011 par rapport au jour solaire théorique.

2 Le pendule et la pendule

Une pendule (horloge à balancier) utilise les oscillations d'un pendule (balancier), le plus souvent métallique (Fig. 3).

Données :

- Pour des petits angles d'oscillation, un pendule de longueur ℓ oscille avec une période $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$ où g est la valeur du champ de pesanteur.
- Coefficient de dilatation thermique des métaux : la variation relative de longueur des métaux sous l'effet des changements de température est comprise entre $1 \cdot 10^{-6}$ et $20 \cdot 10^{-6}$ par kelvin.
- Variation de g avec l'altitude : diminue de $3 \cdot 10^{-6}$ par mètre, en valeur relative, au voisinage du sol.
- Variation relative de g du fait de l'aplatissement de la Terre : 0,7 % entre l'équateur et les pôles.



Fig. 3 Pendule à balancier.

3 Histoires d'horloges

Les **horloges mécaniques** existent depuis le ^{xvi}e siècle. À la fin du ^{xviii}e siècle, l'horloger britannique John Harrison réalise un chronomètre ne dérivant que d'une seconde tous les dix jours.

Aujourd'hui, les chronomètres mécaniques les plus performants mesurent le millième de seconde, mais leur stabilité est comparable. (Fig. 4) Les cristaux de quartz présentent des propriétés piézoélectriques, c'est-à-dire que leur excitation électrique permet d'engendrer des oscillations très stables pouvant servir de référence de temps. Les **montres à quartz** (Fig. 5), commercialisées à partir des années 1960, utilisent des cristaux (Fig. 6) oscillant à 32 768 Hz et ne se décalant que d'une seconde tous les six ans environ : en vieillissant, le quartz s'abîme et change progressivement de fréquence d'oscillation (Fig. 7).



Fig. 5 Des montres à quartz.



Fig. 6 Des cristaux de quartz.



Fig. 4 Les balanciers des montres sont des pendules élastiques utilisant un ressort spiral.



Fig. 7 Intérieur d'une montre à quartz.

Les premières **horloges atomiques** datent des années 1950. Utilisant les radiations, très stables dans le temps, produites par des atomes de césium, pour synchroniser des horloges à quartz, elles permettent d'obtenir des écarts très faibles, de l'ordre d'une seconde pour 10^{15} s, voire moins dans les années à venir. (Fig. 8)

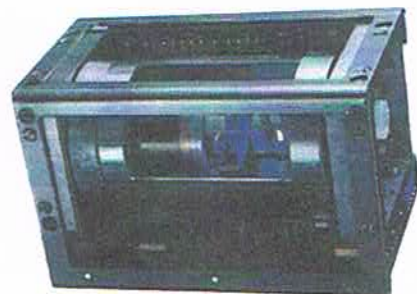


Fig. 8 Des horloges atomiques de ce type sont embarquées dans les satellites du GPS.

- Calculer la longueur ℓ_0 d'un pendule métallique de période $T_0 = 2,00$ s avec $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$.
- Évaluer sa période si le paramètre suivant est changé **Aide 1** :
 - température diminuée de 20°C (alternance été-hiver) (période T_1),
 - altitude augmentée de $2\,000$ m (période T_2),
 - transport des régions polaires vers l'équateur (période T_3).
- Pour chacune des périodes T_i déterminées à la question précédente, calculer également les écarts relatifs $\frac{|T_i - T_0|}{T_0}$.
- Relever les stabilités des horloges mécaniques, à quartz et atomiques et les présenter aussi sous forme d'un écart relatif. **Aide 2**
- Présenter dans un tableau les ordres de grandeurs des écarts relatifs calculés aux questions précédentes. Commenter ce tableau.
- En utilisant l'ensemble des documents et les réponses aux questions, rédiger un texte d'une page expliquant pourquoi les deux définitions astronomiques ont été remplacées.