

Le principe des horloges atomiques

L'idée est de disposer d'un oscillateur à quartz dont la fréquence ν' est connue avec le plus de précision possible, en étant la plus proche de celle ν d'une radiation électromagnétique donnée. L'atome étant le même partout dans l'Univers, voilà enfin une définition universelle de la seconde...

Une enceinte chauffée contenant du césium permet de créer un jet d'atomes. Dans ce jet, seuls les atomes correspondant à un état énergétique de départ désiré, disons l'état E_1 , sont conservés, grâce à un champ magnétique.

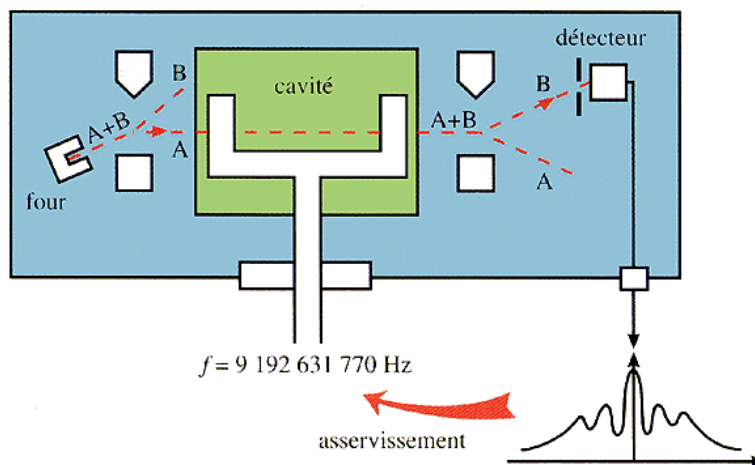
Un oscillateur à quartz – produisant un signal à 10 MHz – est multiplié afin de piloter un générateur de micro-ondes à une fréquence ν' voisine de ν ; ce signal est ensuite injecté dans une cavité résonnante dite *cavité de Ramsey*. Le jet d'atomes dans l'état E_1 passe dans la cavité : plus la fréquence ν' est proche de ν , plus grand sera le nombre d'atomes qui, par absorption de l'onde, subiront la transition à l'état E_2 .

À la sortie de la cavité, le jet atomique subit une seconde sélection par déflexion magnétique pour séparer les atomes dans l'état E_2 de ceux dans l'état E_1 . Un détecteur, placé dans la trajectoire des atomes dans l'état E_2 , produit un signal proportionnel au nombre de ces atomes ; plus ν' est proche de ν , plus le nombre d'atomes E_2 compté en sortie est grand.

Un système d'asservissement (ou « rétroaction ») ajuste en permanence la fréquence de l'oscillateur à quartz pour maximiser le nombre d'atomes dans l'état E_2 , et donc conserver la fréquence de l'oscillateur proche de la fréquence optimale. La fréquence ν' de l'oscillateur est ainsi asservie à la fréquence ν de la transition atomique.

Dans le cas du césium, la fréquence ν utilisée est de 9 192 631 770 Hz : cette valeur est exacte par définition, car elle définit la seconde, et donc le hertz (fréquence pour "une" seconde...).

Comme dans la montre dite à quartz, le comptage du temps est ensuite assuré par une division des oscillations de l'oscillateur à quartz à l'aide du circuit électronique adapté, puis associé par exemple à afficheur horaire. Les oscillations peuvent aussi être utilisées directement pour piloter des dispositifs ou équipements nécessitant une fréquence de fonctionnement stable.



Le refroidissement extrême des atomes – pour lequel le Français Claude Cohen-Tannoudji a reçu le prix Nobel de Physique en 1991 – permet d'envisager des horloges à fontaine atomique où les atomes peuvent potentiellement passer plusieurs fois dans la cavité, ce qui améliore grandement la précision. D'autres expériences, comme *Pharao*, proposent de réaliser toutes ces opérations en microgravité (dans l'espace), poussant la précision encore plus loin – peut-être 10^{-19} (soit 1 s de dérive en 300 milliards d'années) très bientôt...

Mais alors pourquoi chercher une telle précision ? L'évolution des connaissances et celle, concomitante, des besoins qu'elles ont créés le justifie. Ainsi, les horloges atomiques trouvent de nombreuses applications parmi lesquelles

- la géolocalisation (GPS, Glonass, Galileo) : c'est la mesure du temps qui permet d'obtenir celle des distances
- Les télécommunications : l'obtention de hauts débits de transmission nécessite une synchronisation efficace des signaux
- Les avancées scientifiques : les tests expérimentaux de la physique théorique sont gourmands en précision – souvenez-vous de la polémique autour de la découverte de neutrinos plus rapides que la lumière...