

Le temps selon l'atome de césium

Nouvel étalon pour l'horloge atomique

Les écrits sur le temps ne se comptent plus et se sont accumulés au cours des siècles. Le temps, c'est ce qui use sans bruit; c'est la division arbitraire de l'éternité, de l'insaisissable, de la vie de l'âme.

Pendant des siècles, l'homme a cherché le moyen le plus précis de mesurer et de contrôler le temps. Dans ses recherches, il a travaillé dans des domaines allant de la mesure du mouvement des corps célestes au sondage des énergies atomiques.

Récemment, on a fait des progrès importants dans la mesure du temps atomique à la section Temps et fréquence de la Division de physique du Conseil national de recherches du Canada. Un nouvel étalon au césium, le Cs V, sera bientôt utilisé comme horloge atomique la plus précise du monde.

Il y a des années, la mesure du temps était basée sur la durée de rotation de la Terre sur elle-même. Quand on s'est aperçu que cette rotation n'était pas uniforme, les astronomes ont adopté la période de révolution de la Terre autour du Soleil pour l'année 1900 comme base de la mesure du temps. Ce "temps des éphémérides" est maintenant à la base de nombreux calculs astronomiques et de prévisions mais il n'est pas facile de s'en servir couramment.

Les instruments construits par l'homme pour mesurer le temps vont du cadran solaire au sablier, aux horloges à eau, mécaniques et à pendules et même aussi aux oscillateurs à cristaux de quartz. Aujourd'hui, les mesures du temps sont basées sur les horloges atomiques au césium dont la fréquence a été mesurée avec précision en fonction du temps des éphémérides. Le temps atomique et le temps des éphémérides ne varient pas avec les saisons ou les années.

L'horloge est dite "atomique", non pas parce que l'énergie qui la fait marcher est atomique, mais parce que certaines propriétés fondamentales de l'atome sont utilisées pour définir le temps.

Dans un champ magnétique, les atomes de césium 133 peuvent adopter l'un ou l'autre de deux niveaux énergétiques correspondant chacun à des moments cinétiques différents. De plus, chaque niveau contient une structure hyperfine de sous-niveaux très peu espacés les uns des autres. Dans la pratique, une transition, ou résonance de Rabi, peut être excitée du niveau le plus bas jusqu'au niveau le plus haut entre deux niveaux hyperfins particuliers à une fréquence de 9 192 631 770 Hz dans la bande des micro-ondes. La seconde a été définie dans le système international, en 1967, par le Bureau international des Poids et Mesures comme étant la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à cette transition.

On a fait les premières expériences sur les étalons à faisceau de césium vers 1955 au "National Bureau of Standards", à Washington, aux États-Unis, et au "National Physical Laboratory", à Teddington, en Angleterre. Au CNRC, on a commencé des travaux en 1957 en construisant un étalon atomique à faisceau de césium, le Cs I. En 1963, un étalon de fréquence primaire amélioré, le Cs III, a été mis au point et a servi à étalonner les premiers oscillateurs à cristaux de quartz et, l'année suivante, lorsque l'on a commencé des travaux sur la conservation du temps, des horloges secondaires commerciales à faisceau de césium. Le CNRC a également réglé des horloges atomiques confiées à l'Observatoire fédéral qui assurait alors le service de l'heure au Canada.

En 1970, le groupe du CNRC a assuré dans sa totalité la conservation du temps pour tout le pays et il est ainsi devenu responsable, non seulement pour les recherches et le développement sur le temps atomique et les étalons de fréquence, mais aussi pour donner le temps officiel et le diffuser dans tout le pays. Le personnel et l'équipement de l'Observatoire fédéral et du CNRC ont été combinés pour donner une nouvelle section dans le cadre de la Division de physique.

Une batterie d'horloges atomiques secondaires commerciales étalonnées et réglées à l'aide du Cs III est devenue la base de l'échelle de temps canadien. Des étalonnages fréquents étaient nécessaires puisque ces horloges secondaires dont la stabilité et la précision étaient beaucoup moins grandes que celles des étalons primaires tendaient toutes à être en avance ou en retard.

Il faut faire une distinction importante entre les horloges et les étalons de fréquences. Les horloges fonctionnent en permanence et donnent une échelle de temps indiquant le temps total qui s'écoule en partant d'un zéro arbitraire alors que les étalons de fréquence, comme le Cs III, sont mis en marche de temps à autre afin de vérifier les vitesses, ou fréquences, des horloges continues. De la même manière, une montre-bracelet peut être réglée périodiquement en se servant d'une horloge électronique plus précise.

Pour combiner en un seul instrument l'étalon de fréquence primaire précis, mais intermittent, et l'horloge continue de façon à avoir un instrument réunissant les avantages des deux autres, il a été nécessaire de lancer au CNRC, en 1970, la construction d'un étalon amélioré, le Cs V.

Le Dr Allan Mungall, de la section Temps et fréquence, a été chargé de la conception globale du Cs V; il a été aidé dans ses travaux par MM. Herman Daams et Ralph Bailey (aujourd'hui en retraite).

Depuis sa construction, en 1973, on s'est servi du Cs V comme étalon expérimental de fréquences et l'on s'en servira aussi comme horloge la plus précise et la plus stable du monde. Dans les autres pays, les étalons primaires au césium n'ont pas été construits pour servir d'horloges mais uniquement comme étalons de fréquences utilisables pour mesurer les vitesses moyennes d'horloges atomiques commerciales.

Écoutons le Dr Mungall: "Je pense qu'il est beaucoup plus important de construire une bonne horloge primaire stable que de prendre une moyenne en partant d'un grand nombre d'horloges secondaires moins stables. Dans d'autres pays on se sert de procédés compliqués pour faire ces moyennes et arriver à une échelle de temps moyen mais j'ai toujours pensé que, sur le plan de la physique, c'est une mauvaise manière d'attaquer le problème".

Les horloges secondaires peuvent être assez stables sur de longues durées mais, comme elles tendent toutes à être de conception identique, leurs dérives tendent aussi à être dans le même sens. Il est inévitable que de petites dérives en fréquence se produisent du fait du vieillissement des composantes électroniques, des variations dans le blindage magnétique ou d'une accumulation de césium métallique dans leurs cavités. On est donc conduit à étalonner fréquemment ces horloges secondaires en utilisant une référence primaire stable.

Le Dr Mungall conclut: "Nous pensons que notre système donnera par la suite une meilleure échelle de temps, qu'il faudra moins de personnel pour s'en occuper et que son coût de fonctionnement sera beaucoup moins élevé".

Le Cs V, mesurant quatre mètres de long (13 pieds), ne ressemble en rien à une horloge traditionnelle. Sa précision ne dépend pas d'un pendule ou d'un ressort mais d'un champ magnétique très uniforme dans la région de transition du césium.

Une petite masse de césium métallique de 5 grammes (0.2 once) est tout d'abord chauffée jusqu'à 80°C (176°F) dans un four en acier inoxydable situé à une extrémité du Cs V. A cette température le césium solide se transforme en un liquide dense et argenté dont la vapeur à une pression suffisante pour donner un faisceau d'atomes libres de césium qui sont alors projetés entre les pôles d'un aimant sélectionneur d'état grâce auquel les atomes sont séparés en deux faisceaux correspondant à deux niveaux énergétiques.