

Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft.
Wissenschaftlicher und administrativer Teil = Actes de la Société
Helvétique des Sciences Naturelles. Partie scientifique et administrative
= Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 144 (1964)

Artikel: La science de la mesure du temps

Autor: Bonanomi, J.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-90550>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

La science de la mesure du temps

D^r J. BONANOMI
Neuchâtel

Mesdames, Messieurs,

Qu'il existe à Neuchâtel, située au centre de la région horlogère suisse, des gens qui se vouent à la science de la mesure du temps n'est pas dû seulement au dévouement désintéressé de ces gens en faveur de la science pure; bien plus, des motifs matériels en vue d'applications industrielles sont à la base des travaux dans ce domaine. Voilà une première remarque corrective au titre de cet exposé sur la science de la mesure du temps: cette science est pour nous, avant tout, une science appliquée, bien qu'elle nous procure un prétexte bienvenu pour effectuer aussi de la recherche de base dans le cadre de nos modestes moyens.

Ayant ainsi établi que nos efforts sont dirigés vers les applications, il convient de poser la question s'il n'est pas prétentieux d'appeler la chronométrie une science. La chronométrie, dans le sens restreint de théorie et pratique des dispositifs de mesure du temps, est une discipline qui doit son existence même à d'illustres savants: Galilée a trouvé les lois du pendule; Huygens a inventé le système balancier-spiral dont sont équipées toutes nos montres; Curie, en découvrant l'effet piézo-électrique, a rendu possible la construction d'horloges à quartz; enfin, la mise au point des horloges atomiques découle directement des travaux de plusieurs lauréats de Prix Nobel, Stern, Rabi, Kusch, Lamb, etc. Au cours de ce développement historique, chaque épisode de découverte scientifique a été suivi d'une période de mise au point et d'exploitation technique. Le dernier épisode scientifique, la découverte de résonances atomiques extrêmement stables et bien définies, est en train, aujourd'hui, de s'achever, la mise au point technique des horloges atomiques est encore à ses débuts. Voilà pourquoi nous estimons que l'attribut de science que nous donnons à chronométrie atomique n'est pas, à l'heure actuelle, présomptueux.

Que la chronométrie atomique suscite un intérêt au-delà du cercle restreint des spécialistes découle de la précision extraordinaire atteinte: l'on peut reproduire par deux horloges atomiques, dans des laboratoires isolés l'un de l'autre, une même fréquence ou, ce qui revient au même, un même intervalle de temps avec une erreur relative de 10^{-13} , ce qui revient à dire que si, au début de l'ère chrétienne, deux de telles horloges avaient été construites et synchronisées une fois pour toutes, elles indiqueraient aujourd'hui encore la même heure à quelques millièmes de seconde près. Cette précision dépasse de loin celle atteinte dans la mesure de n'importe

quelle autre grandeur. (Entre parenthèses, une remarque s'impose ici concernant l'effet Mössbauer: on compare, dans l'effet Mössbauer, la fréquence de 2 systèmes identiques avec une précision relative de 10^{-15} ; ces systèmes ne constituent toutefois pas des étalons, étant donné que leur fréquence, considérée comme unité, ne peut pas être multipliée ou divisée afin d'être comparée à d'autres fréquences.) La meilleure mesure d'une longueur est environ 100 000 fois moins précise que la mesure d'un intervalle de temps, et il est difficile de se représenter ce que signifierait pratiquement une précision de 10^{-13} appliquée à d'autres domaines: mesurer le tour de la terre à cette précision équivaldrait à le mesurer avec une erreur inférieure à $\frac{1}{100}$ de millimètre! Si notre bureau statistique appliquait une telle précision, nous connaîtrions le revenu national suisse à 0,5 centime près!

Le renouvellement de l'intérêt pour la chronométrie découle aussi du fait qu'avec les horloges atomiques on dépasse, pour la première fois dans l'histoire, en précision les horloges naturelles que constitue la terre par sa rotation autour de son axe et par sa révolution autour du soleil. Ces deux mouvements définissent des intervalles de temps, le jour et l'année, avec une grande précision (de 10^{-8} environ), de sorte que les durées du jour et de l'année ont été utilisées depuis toujours comme étalons naturels; aujourd'hui, cependant on en mesure très aisément les fluctuations.

Histoire de la chronométrie

L'histoire de la chronométrie jusqu'à nos jours est donc entièrement conditionnée par la présence tangible de ces deux étalons naturels; les unités naturelles d'intervalle de temps, fournies par ces deux étalons, sont le jour solaire moyen et l'année tropique. La science de la mesure du temps a donc toujours tourné autour des deux problèmes suivants: 1° Mesure de l'année tropique en termes du jour solaire moyen; 2° Subdivision du jour solaire moyen en intervalles plus courts, à savoir heures, minutes et secondes.

Comparer le jour solaire moyen à l'année tropique est un problème astronomique auquel tous les grands astronomes jusqu'au XIX^e siècle ont travaillé. Il y a 4000 ans, les Egyptiens connaissaient l'année de 365,25 jours, la preuve que leurs mesures étaient déjà précises à 10^{-4} . La mécanique céleste et les télescopes ont permis, dès le XVII^e siècle, d'ajouter plusieurs décimales à la précision. On s'aperçut finalement que le rapport entre les deux unités n'était pas constant, mais fluctuait. Le rapport entre le mois lunaire, l'année de la planète Mercure et l'année terrestre s'avérant d'autre part invariable, la fluctuation était à imputer à la rotation de la terre; entre autres fluctuations, la terre est soumise à un ralentissement progressif de 3×10^{-8} par siècle. Le retard accumulé en vingt siècles par ce ralentissement est de plusieurs heures, assez pour modifier sensiblement l'endroit de la totalité d'une éclipse solaire observée dans l'Antiquité. Les récits authentiques et précis d'éclipses de l'Antiquité sont peu nombreux,

ils ont toutefois permis de vérifier avec certitude le ralentissement de la rotation de la terre au cours des derniers vingt siècles.

L'échelle de temps conservée par la terre en rotation est appelée temps universel. Le temps universel est défini en termes du jour sidéral, c'est-à-dire l'intervalle entre deux passages successifs d'une étoile fixe par le méridien du lieu d'observation. Le jour sidéral, augmenté d'une fraction fixe, est appelé jour solaire moyen. L'instrument utilisé aujourd'hui pour la détermination du temps universel est appelé lunette zénithale photographique. Cet instrument enregistre sur plaque photographique les étoiles à l'instant de leur passage au zénith, la direction du zénith étant définie par un bain de mercure. En prenant beaucoup de précautions, on détermine ainsi la position d'une étoile à $\pm 5 \times 10^{-8}$ radians ($0'',01$) par rapport au zénith. Cette précision requiert la localisation d'une image stellaire sur la plaque photographique à 0,2 micron près et permet la détermination du temps universel à $1/1000$ de seconde. A l'erreur instrumentale s'ajoute en outre l'erreur due à la fluctuation de la réfraction atmosphérique. La figure 1 montre la comparaison du temps universel à une échelle de temps atomique uniforme pendant les années 1956 à 1964. Nous en déduisons que la rotation de la terre est dépassée en tant qu'étalon de temps, mais que d'autre part la détermination du temps universel et sa comparaison au temps atomique fournit un moyen intéressant d'investigation des causes des variations de la rotation de la terre.

L'échelle de temps définie par la révolution de la terre autour du soleil est appelée temps des éphémérides. La seconde, unité de temps actuellement en vigueur, est la fraction $1:31\,556\,925,9747$ de l'année tropique 1900. C'est une unité très peu pratique pour la raison suivante: le temps des éphémérides est déterminé en mesurant la position du soleil par rapport aux étoiles. Or le soleil ne se déplace que très lentement ($0'',04$ par

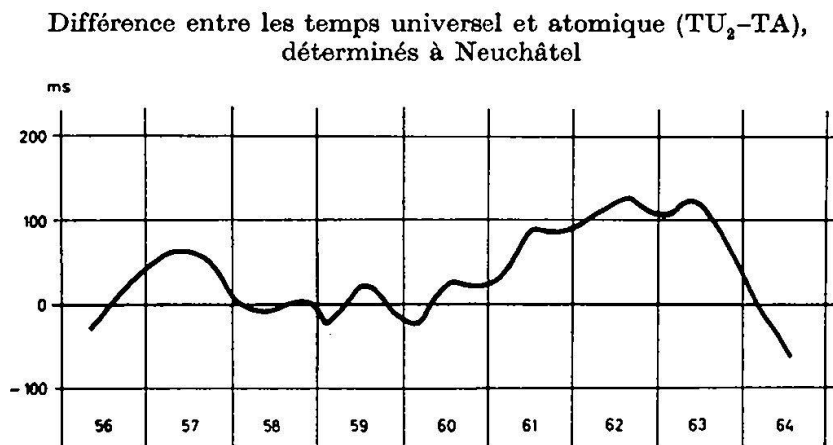


Figure 1

La courbe représente la différence entre l'heure astronomique (temps universel) et l'heure atomique pendant les années 1956 à 1964. L'heure astronomique est donnée par la rotation de la terre; elle est déterminée en mesurant le passage d'étoiles par le méridien. L'origine de l'échelle verticale est arbitraire

seconde) par rapport aux étoiles ; en supposant que l'on détermine la position du soleil à $\frac{1}{10\,000}$ de son diamètre, il faudra quatorze années de mesure pour connaître le temps des éphémérides à 10^{-8} près.

Le second problème fondamental de la chronométrie est la subdivision du jour en intervalles plus courts, en d'autres termes la construction d'horloges. On peut, en principe, utiliser comme horloge n'importe quel phénomène dont le déroulement en fonction du temps est connu explicitement ; en pratique toutefois, seuls les systèmes résonnants ont permis d'atteindre des précisions intéressantes. Nous entendons par système résonnant un dispositif permettant d'osciller à une fréquence qui ne dépend pas, en 1^{re} approximation, de l'amplitude de l'oscillation. Les horloges, avant l'avènement au XVII^e siècle, du pendule, premier système résonnant, sont en effet dépourvues d'intérêt scientifique, leur précision n'ayant jamais dépassé le quart d'heure par jour. Les horloges pendulaires atteignirent bientôt des précisions de l'ordre de la seconde par jour et finalement, au début de notre siècle, le centième de seconde par jour. Autour de 1920, des horloges à quartz, entretenues par méthodes électroniques, nous firent passer progressivement à des précisions du millième jusqu'au millionième de seconde par jour.

Toutefois ces horloges à quartz ont le grave inconvénient que leur précision ne se conserve pas longtemps ; elles sont soumises à une dérive progressive ; à long terme, c'est-à-dire pour des intervalles dépassant l'année, la rotation de la terre fournit un étalon plus constant.

La dérive de la fréquence des horloges à quartz ainsi que les irrégularités de la rotation de la terre sont des défauts inhérents à ces systèmes. On ne peut empêcher la terre de se ralentir sous l'effet des marées par exemple et on ne peut empêcher que le cristal de quartz, qui n'est jamais parfait, change tant soit peu ses propriétés mécaniques. Seules des oscillations effectuées par des atomes individuels et ne dépendant que des propriétés de ces atomes peuvent fournir des étalons immuables. C'est sur cette constatation que sont basées les horloges atomiques dont nous nous proposons maintenant de parler plus en détail.

Les principes de fonctionnement des horloges atomiques

Des horloges atomiques existent depuis dix ans environ ; depuis leur création, un développement considérable a eu lieu et, aujourd'hui, des modèles d'un fonctionnement très sûr, d'une précision remarquable et d'un prix abordable sont disponibles sur le marché.

Une horloge atomique étant toujours constituée d'un étalon atomique de fréquence et d'un dispositif électronique de comptage des oscillations, ce dernier ne présentant aucun problème de principe, nous pourrions, par la suite, utiliser horloges atomiques et étalons atomiques de fréquence comme désignations synonymes.

Le problème de base que résout une horloge atomique est la mesure précise de la fréquence ν d'une raie spectrale, c'est-à-dire d'une transition

électromagnétique entre deux niveaux quantiques dont la différence d'énergie vaut $E = h\nu$. La fréquence de la raie spectrale, pour être mesurable par des moyens électroniques, ne doit pas être trop élevée, typiquement de l'ordre de 10^{10} Hz. Cette condition exclut toutes les raies spectrales du domaine optique et infrarouge dont les fréquences, de l'ordre de 10^{14} Hz, ne sont connues que par l'intermédiaire de la mesure de la longueur d'onde et de la vitesse de la lumière. Cette première condition restreint donc le choix des raies spectrales à celle de la spectroscopie micro-ondes.

Parmi les innombrables raies spectrales connues dans le domaine des ondes centimétriques, le choix est limité par la condition que la fréquence de la transition doit être indépendante d'influences du milieu (température, champs magnétiques et électriques). En plus, l'atome ou la molécule considéré ne doit pas posséder un trop grand nombre de raies spectrales micro-ondes, sinon, en équilibre thermique, les atomes se répartissent sur tous les niveaux et un nombre trop restreint est disponible dans les niveaux de la transition utilisée. D'autres conditions encore nous laissent finalement le choix entre quatre transitions quantiques des quatre atomes hydrogène, rubidium, césium et thallium. S'il est étonnant qu'il existe effectivement au moins un candidat qui remplisse toutes les exigences, il est encore plus curieux de noter qu'aucun des quatre candidats n'a pu s'imposer en excluant les autres; en effet, des horloges à l'hydrogène, au rubidium, au césium et au thallium sont actuellement en développement et aucune n'est supérieure aux autres à tout point de vue.

Dans les quatre éléments mentionnés, les deux niveaux quantiques entre lesquels se produit la raie spectrale sont appelés niveaux de structure hyperfine. Le noyau atomique aussi bien que l'électron sont doués d'un spin et d'un moment magnétique. Les forces que ces deux moments magnétiques exercent l'un sur l'autre ont pour effet que l'énergie potentielle dépende de l'orientation mutuelle; pour un spin électronique $\frac{1}{2}$, seules les deux orientations parallèle et antiparallèle sont admises. L'orientation parallèle donne lieu au niveau supérieur de structure hyperfine, l'orientation antiparallèle au niveau inférieur. Si l'atome est placé dans un champ magnétique, l'atome effectue un mouvement de précession de Larmor qui, à son tour, crée une multiplicité de niveaux, suivant l'orientation de l'atome dans le champ magnétique. Dans une de ces orientations, spin de l'atome perpendiculaire au champ magnétique, l'énergie potentielle des niveaux ne dépend pas, en première approximation, du champ magnétique; cela est une condition nécessaire pour que la fréquence de la raie spectrale soit indépendante de champs magnétiques parasites, que l'on ne peut jamais éliminer totalement. Le traitement mathématique du problème, au moyen de la mécanique quantique, donne la solution quantitative jusque dans ses moindres détails. La figure 2 représente la situation pour le cas de l'atome d'hydrogène.

Dans un champ magnétique inhomogène, un atome libre subit une force dans la direction où l'énergie potentielle est minimale; un atome dans l'état quantique $F = 1, m = 0$ est par conséquent attiré dans la direction

Niveaux de structure hyperfine de l'atome d'hydrogène

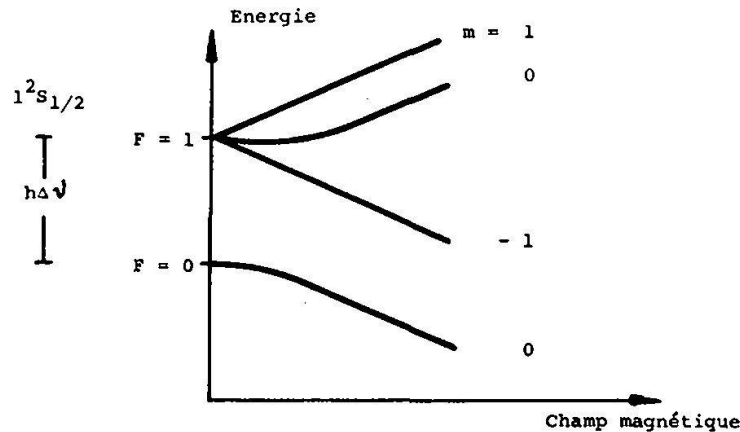


Figure 2

Les niveaux de structure hyperfine de l'atome d'hydrogène dans un champ magnétique. $1^2S_{1/2}$ désigne l'état électronique fondamental; les valeurs de m les différentes orientations de l'atome dans le champ magnétique. La raie spectrale qui fournit l'étalon de fréquence est la transition entre les niveaux $F = 1, m = 0$ et $F = 0, m = 0$

de champs magnétiques décroissants, d'autre part un atome dans l'état $F = 0, m = 0$ est dévié dans la direction opposée.

La transition quantique étant choisie, la réalisation pratique de l'étalon est déterminée dans une large mesure par les deux considérations que voici :

1° La raie spectrale doit être étroite, c'est-à-dire que, considérée comme courbe de résonance, son facteur de qualité, Q , doit être élevé, Q étant défini par $Q = \nu/\Delta\nu$, où $\Delta\nu$ est la largeur de la courbe de résonance. La transition quantique est induite par l'action d'un champ électromagnétique que l'on fait agir sur l'atome libre; la durée de l'interaction entre le champ et l'atome est naturellement limitée puisqu'un atome libre se déplace à sa vitesse thermique de l'ordre du kilomètre à la seconde. Si nous appelons Δt la durée de cette interaction, on montre aisément que la largeur de la courbe de résonance observée sera de l'ordre de $\Delta\nu = 1/\Delta t$. Un facteur Q élevé requiert donc un temps d'interaction élevé. Dans les horloges atomiques, on travaille avec des facteurs de qualité de 10^8 à 10^9 ; mentionnons d'autre part les facteurs de qualité typiques pour une montre (10^2), pour un pendule (10^4) et pour un quartz (10^6).

2° Pour des températures ordinaires et les fréquences considérées, l'énergie $h\nu$ qui sépare les deux niveaux est très petite par rapport à l'énergie d'agitation thermique kT ; par conséquent, un jet atomique provenant d'une source adéquate contient sensiblement autant d'atomes dans l'état quantique supérieur qu'inférieur. Un champ électromagnétique agissant sur ces atomes induira autant de processus d'émission (transition du niveau quantique supérieur à inférieur) que de processus inverses d'absorption. Par conséquent, il n'y aura pas d'effet global détectable puisque ni la population moyenne des niveaux, ni l'amplitude de la radiation n'au-

ront subi de changement notable. Afin de pouvoir déceler un effet significatif, il est dès lors indispensable de «séparer les états», c'est-à-dire d'éliminer, avant l'interaction avec le champ de haute fréquence, les atomes se trouvant dans un des états.

Le maser à hydrogène

Ce dispositif est un oscillateur dont les atomes fournissent eux-mêmes l'énergie d'entretien par l'émission de quanta $h\nu$. Le principe de fonctionnement est décrit par la figure 3: de l'hydrogène moléculaire à basse pression est dissocié en hydrogène atomique dans une décharge à haute fréquence. Par de petits orifices, un jet dirigé d'hydrogène atomique s'échappe dans une enceinte à vide poussé. Le jet d'atomes traverse ensuite le sélecteur d'état. Ce dispositif est un aimant à six pôles, parallèles au jet, qui produit un champ magnétique intense qui décroît très rapidement depuis les pôles jusqu'à l'axe. Dans un champ magnétique de quelques milliers de Gauss, les atomes d'hydrogène dans les états $F = 1$ et $F = 0$ subissent, dans le champ magnétique inhomogène, des forces de signes opposés. On peut montrer que le sélecteur d'état agit sur les atomes dans l'état $F = 0$ comme une lentille divergente et sur ceux dans l'état $F = 1$ comme une lentille convergente. Au point de convergence, le jet ne contient plus que des atomes se trouvant dans l'état quantique supérieur ($F = 1$) qui, poursuivant leur trajet, pénètrent dans un ballon en verre de silice, dont les parois intérieures sont enduites d'une mince pellicule de teflon. Le ballon se trouve au centre d'une cavité accordée à la fréquence des atomes (1420 MHz). L'atome est trappé à l'intérieur du ballon, il en ressort par l'orifice d'entrée après environ 10^5 collisions avec les parois. Grâce à sa très faible interaction avec la surface du teflon, l'atome d'hydrogène maintient son état quantique ($F = 1$) lors des collisions avec les parois du ballon (la probabilité d'un changement d'état lors d'une collision est d'environ 10^{-5}). Dès que le jet atomique dépasse une certaine intensité de seuil, il se crée, à l'intérieur de la cavité, une oscillation du type maser, entretenue par les atomes qui, sous l'influence du champ électromagnétique de la

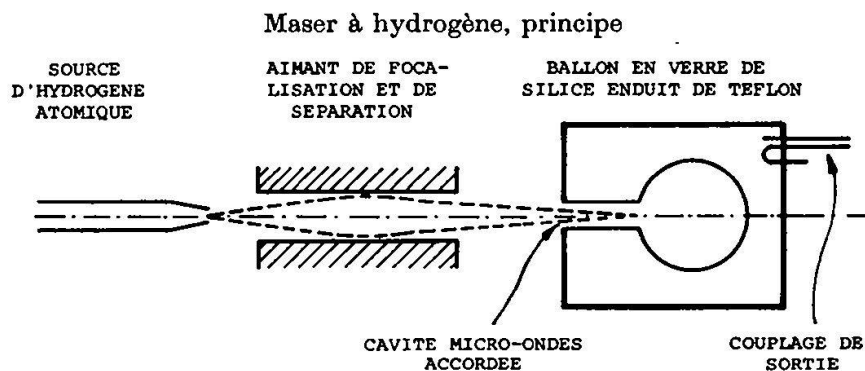


Figure 3

cavité effectuent des transitions quantiques induites de $F = 1$ à $F = 0$, leur énergie $h\nu$ s'additionnant en phase à celle du champ hf. En admettant que le jet fournisse, par seconde, $N = 10^{12}$ atomes dans l'état $F = 1$, $m = 0$, ces atomes fournissent à leur tour une puissance $P = Nh\nu = 10^{-12}W$; des puissances de cet ordre de grandeur sont facilement détectables. En pratique, une petite fraction de la puissance est acheminée par une boucle de couplage sur un récepteur qui en mesure la fréquence par rapport à un autre étalon.

Le processus de transition induite dure tant (1 sec environ) qu'un autre processus de relaxation ne vient l'interrompre; parmi ces processus de relaxation, citons le cas important quoique banal de la fuite de l'atome par l'orifice d'entrée. Avec $\Delta t = 1$ sec, il découle de la relation d'incertitude: $\Delta\nu = 1$ Hz et $Q = \nu/\Delta\nu = 1,4 \times 10^9$.

Résonateurs à jets atomiques de césium et de thallium

Les fréquences sont de 9192 MHz et 21311 MHz pour le césium et le thallium respectivement. Dans un champ magnétique, les niveaux d'énergie sont semblables à ceux de l'hydrogène, en particulier l'énergie des deux niveaux caractérisés par $m = 0$ ne dépend que du carré du champ magnétique; la dépendance est cependant plus faible, surtout dans le cas du thallium. Pour la séparation spatiale des états, on fait également appel au fait que dans un champ magnétique inhomogène le signe de la force agissant sur l'atome change suivant que celui-ci se trouve dans un niveau supérieur ou inférieur. La figure 4 décrit schématiquement le fonctionnement d'un résonateur à jet atomique. Issu de la source, un petit four, le jet atomique pénètre un premier aimant A, qui peut être à quatre ou six pôles et qui défléchit, par son champ inhomogène, les atomes des niveaux supérieurs, en rendant le faisceau parallèle; par contre, les atomes des niveaux inférieurs quittent l'aimant sous forme d'un faisceau divergent.

Résonateur à jet atomique; principe de fonctionnement

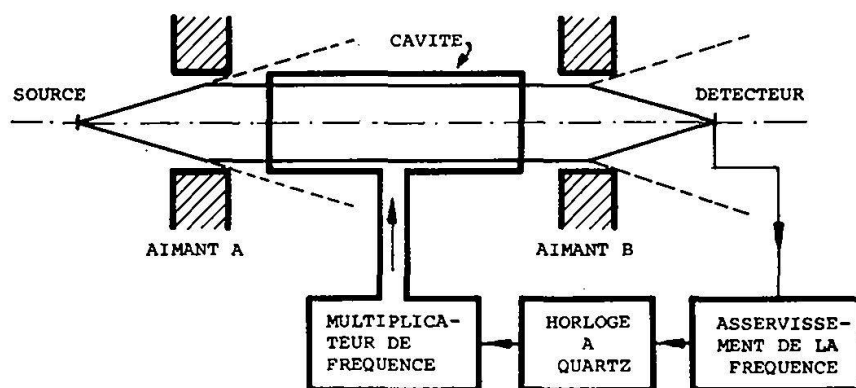


Figure 4

Les atomes traversent ensuite une cavité accordée à la fréquence de transition; dans la cavité, un champ HF dont la fréquence est celle de la transition, est entretenu au moyen d'un signal provenant d'un oscillateur à quartz. Le champ HF induit dans les atomes des transitions à l'état quantique inférieur si sa fréquence est exactement celle de la transition. Dans un second aimant (B), à la sortie de la cavité, les atomes sont à nouveau triés selon leur état quantique; ceux ayant subi une transition sont dispersés tandis que ceux restés dans un niveau supérieur sont focalisés sur un détecteur d'atomes. Le détecteur est une pièce de tungstène (oxydé dans le cas du thallium), chauffée à environ 1000 °K; au contact avec cette surface de tungstène, les atomes perdent un électron et quittent le tungstène sous forme d'ions positifs, accélérés par une tension négative appropriée. Finalement, les ions sont détectés sous forme d'un courant électrique. En fonction de la fréquence du champ HF, le courant ionique possède un minimum à la fréquence de transition; le temps de parcours Δt des atomes, traversant la cavité à leur vitesse thermique de 200 m/sec environ, détermine la largeur $\Delta\nu$ de la résonance; un grand facteur de qualité requiert par conséquent une longue cavité. Des cavités d'une longueur jusqu'à 4 m ont été construites, avec lesquelles des facteurs de qualité de 3×10^8 ont été atteints. Un dispositif électronique asservit la fréquence de l'oscillateur à quartz sur le centre de la raie spectrale.

Ce n'est pas le lieu ici pour discuter les mérites et défauts des différents types d'étalons atomiques. Le maser à hydrogène est actuellement l'étalon le plus précis, des précisions de 10^{-13} étant assurées, mais les résonateurs à césium et thallium le suivent de près.

Conclusions

La conséquence évidente de la précision supérieure des étalons atomiques sera le remplacement de la définition astronomique actuelle de la seconde par une définition atomique. L'expérience de ces dernières années a montré d'une part que l'on pouvait reproduire, au moyen d'étalons atomiques, un même intervalle de temps, par exemple la seconde, avec une précision bien supérieure à la précision de la seconde astronomique et, d'autre part, qu'une échelle de temps atomique pouvait être conservée à maints endroits, sans divergences et sans interruptions. Pour illustrer la sécurité de fonctionnement, nous mentionnerons seulement que l'heure atomique que nous diffusons en Suisse depuis cinq ou six ans ne s'est écartée de l'heure analogue des Etats-Unis que de quelques millièmes de seconde et ceci, bien entendu, sans remises à l'heure intermédiaires, à part une synchronisation initiale. En ce moment siège à Paris la Conférence générale des poids et mesures et il est probable que, dès 1965, la seconde sera définie comme la durée de 9 192 631 770,000 oscillations de l'atome de césium. De fait, cette définition est déjà en vigueur depuis plusieurs années dans les laboratoires qui utilisent une heure ou des fréquences très précises.

Ayant mentionné ces laboratoires où s'utilisent effectivement les étalons atomiques de fréquence, il serait logique de parler maintenant des applications des étalons atomiques. Toutefois, un disciple fidèle de la science de la mesure du temps se doit de respecter également le temps qui lui est imparti. Je termine en vous remerciant.

**Das Eis der Erde
und seine gegenwärtige Entwicklung**

Prof. Dr. H. HOINKES, Innsbruck

Kein Manuskript eingegangen.