

Zeitschrift: Horizons : le magazine suisse de la recherche scientifique
Herausgeber: Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique
Band: - (1997)
Heft: 35

Artikel: La précision des atomes froids
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-553945>

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 précision des atomes froids

A l'Observatoire cantonal de Neuchâtel, des physiciens préparent une horloge atomique qui variera de moins d'une seconde en 30 millions d'années. Elle fonctionne selon une technique distinguée par le Prix Nobel de physique 1997: le refroidissement et le piégeage d'atomes par laser.

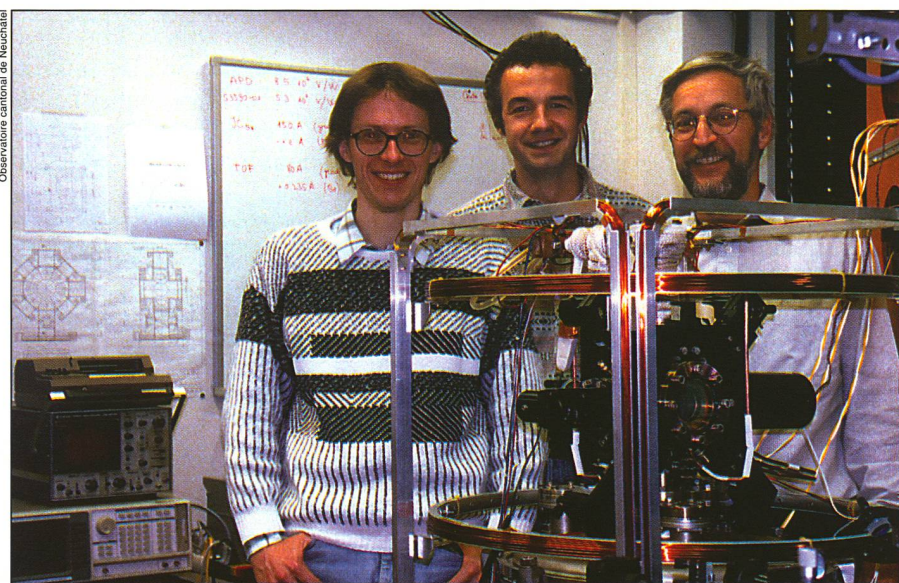
«Imaginez les musiciens d'un orchestre accordant leurs instruments», lance Pierre Thomann, responsable du groupe de physiciens de l'Observatoire cantonal de Neuchâtel chargé de construire une horloge atomique hyper-précise. «Si le hautboïste donne le *la* en soufflant par petits coups brefs, les autres musiciens ont de la peine à s'accorder. En revanche, s'il fait durer sa note, ses collègues s'ajustent facilement. Dans l'horloge atomique que nous mettons au point, le principe de base est similaire. En ralentissant plus de cent fois la vitesse de déplacement d'atomes de césium, par comparaison avec une horloge atomique classique, on augmente d'autant le temps qui permet de relever les battements de ces atomes

tiré parti de ce diapason naturel pour définir la durée exacte d'une seconde: c'est le temps nécessaire pour qu'un atome de césium accomplisse 9 192 631 770 oscillations. Reste à compter...

Dans une horloge atomique classique, les atomes de césium sont observés dans un vide très poussé. Ils s'y déplacent à la vitesse d'environ 200 mètres par seconde. De ce fait, ils ne passent qu'un très court instant – environ 10 millièmes de seconde – dans l'émetteur de micro-ondes chargé d'accorder sa fréquence sur le battement naturel des atomes. «On est ici dans le cas du hautboïste qui donnerait un *la* très bref», relève Pierre Thomann. «Pour augmenter ce temps d'observation, nous avons développé un

dispositif qui ralentit les atomes de césium: ils se déplacent à peine de quelques centimètres par seconde. Leur état d'agitation est alors si faible que leur température n'est plus que de 20 millièmes de degré au-dessus du froid absolu, soit tout proche de -273°C . Une fois qu'on relâche ces atomes «froids», ils sont attirés par la gravité terrestre. Dans leur chute, ils traversent l'émetteur de micro-ondes avec une vitesse de seulement deux mètres à la seconde.»

Avec cette nouvelle technique, les chercheurs de l'Observatoire envisagent une précision dix fois meilleure que les horloges atomiques classiques. Ils visent une exactitude si grande que deux horloges du même type varieront de moins



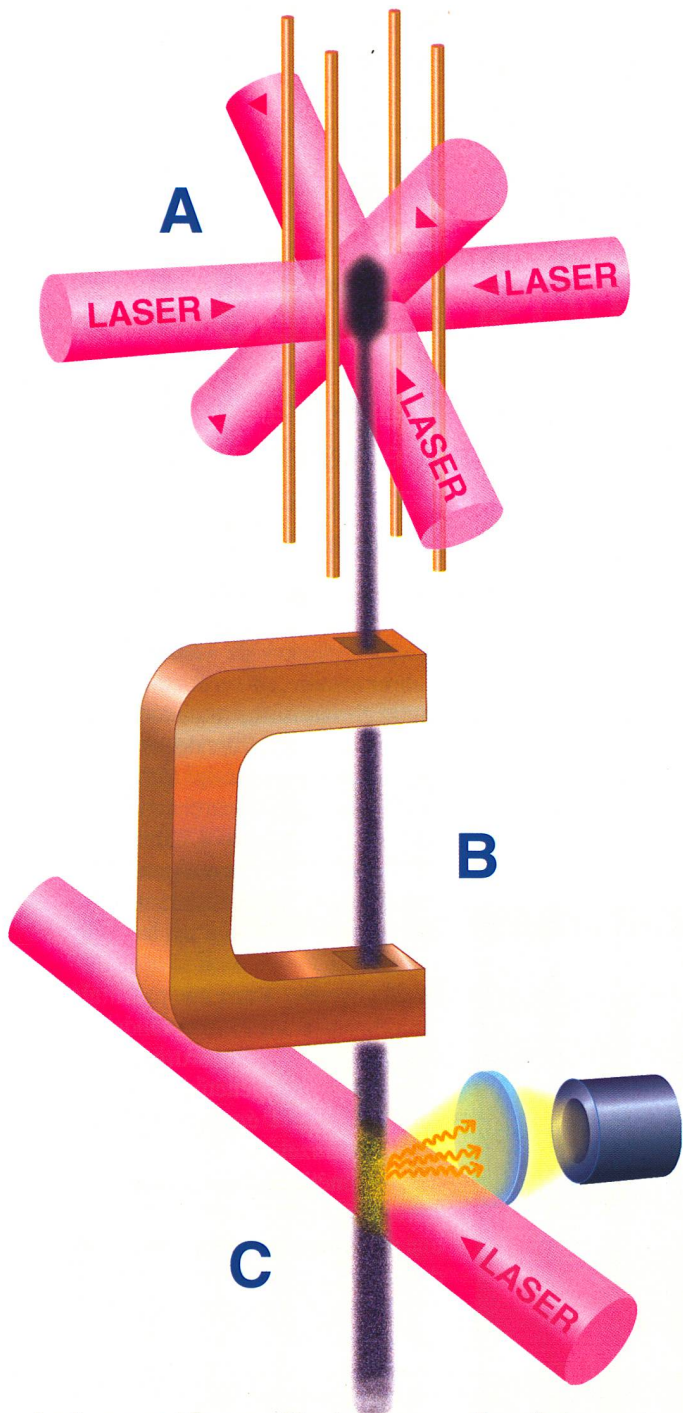
Alain Joyet, Patrick Berthoud et Pierre Thomann derrière leur horloge atomique.

qui sont de véritables petits diapasons.»

Mais attention: horloge atomique ne veut pas dire «radioactivité». Les chercheurs de l'Observatoire emploient du césium 133 qui est inoffensif. Ces atomes possèdent un électron libre dont l'énergie peut prendre deux valeurs très voisines. En passant de l'une à l'autre, l'électron oscille avec une grande rapidité et surtout avec une régularité extrême. Depuis 40 ans, les scientifiques ont

d'une seconde après trente millions d'années.

Ce défi a été relevé à la demande de l'Office fédéral de métrologie (OFMET) qui a décidé en 1990 de doter la Suisse d'un étalon primaire de temps, soit une horloge de référence extrêmement précise. De tels étalons sont nécessaires pour garantir la conformité des horloges secondaires de fabrication industrielle, utilisée principalement dans la navigation aérienne et spatiale et dans les télé-



Jet continu d'atomes froids

A. Dans une chambre à vide où s'agitent des atomes de césium 133, quatre fils de cuivre (parcourus par un courant électrique) et trois paires de faisceaux laser forment une trappe magnéto-optique. Les atomes de césium y sont ralentis – donc refroidis – et concentrés en son centre. On en extrait un jet continu d'atomes froids.

B. Dans leur chute libre, les atomes traversent les deux bras d'un tube de cuivre coudé en forme de «U»: la cavité micro-ondes. A l'instar de l'air vibrant dans un tuyau d'orgue, un champ magnétique oscillant est produit à l'intérieur du «U». Lorsque ce champ oscille exactement à la fréquence caractéristique des atomes de césium 133, soit 9 192 631 770 fois par seconde, la quantité d'énergie transférée aux atomes est maximale – on est alors en condition de résonance.

C. Au sortir du «U», les atomes traversent un faisceau laser de détection. La lumière de fluorescence qu'ils émettent à ce moment-là est mesurée par un détecteur. La fluorescence est maximale lorsque la condition de résonance est atteinte. Il suffit alors de décompter 9 192 631 770 oscillations, puis d'avancer l'horloge atomique d'une seconde...

Quelle heure est-il?

Le *temps universel* (TU) est fourni par la rotation de la Terre. Il est basé sur la durée du jour solaire moyen, relevé le long du méridien de Greenwich de minuit à minuit. Les irrégularités de la rotation de la Terre entraînent des variations imprévisibles qui peuvent atteindre une seconde d'une année à l'autre. Le TU reste cependant indispensable pour les études en physique du globe, en astronomie et en navigation (bateaux et avions).

Le *temps atomique international* (TAI) est le temps de référence des scientifiques. Le TAI est un million de fois plus uniforme que le temps universel (TU). Il repose sur les données fournies par environ 200 horloges atomiques réparties sur le globe. La Suisse en abrite sept. Le TAI repose sur la définition en vigueur de la seconde, qui correspond à une «durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation associée à la transition entre deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133.»

Le *temps universel coordonné* (TUC) est la base de temps adoptée internationalement depuis 1972, et sert à la diffusion des signaux horaires. Il est calqué sur le TAI à ceci près qu'on lui ajoute une seconde intercalaire tous les ans ou tous les deux ans, pour tenir compte des irrégularités de la rotation terrestre. Ainsi le TUC ne s'écarte jamais du TU de plus de 0,9 seconde.

communications, ainsi que pour «piloter» l'échelle du temps atomique international (*voir encadré*). La qualité des étalons primaires allemands a longtemps donné à nos voisins une situation de monopole. Mais plusieurs nouvelles horloges, dont l'une se trouve à Paris depuis 1991, sont en train de faire leurs preuves – il faut du temps avant de déterminer si un nouvel instrument apporte davantage de précision.

Pour les années 2000

Dans le monde industrialisé, une quinzaine de groupes de recherche travaillent en ce moment à la construction d'horloges atomiques utilisant des atomes froids. Tous – sauf l'équipe de Neuchâtel – ont retenu le principe de la *fontaine atomique pulsée* qui délivre les atomes de césium 133 par bouffées. Dans ses expériences, l'équipe de Pierre Thomann a d'abord démontré la faisabilité du principe du *jet continu* d'atomes. Puis elle a fait fonctionner le premier prototype d'horloge atomique basé sur ce principe. «Il nous reste maintenant quelque cent millions de secondes pour peaufiner les détails!», précise Pierre Thomann. «C'est le temps qui s'écoulera jusqu'à ce que notre étalon primaire puisse entrer en service au début des années 2000...»

Bien des domaines sont susceptibles de bénéficier d'un gain de précision dans la mesure du temps. Par exemple, la physique, avec des vérifications plus fines des théories d'Einstein sur la relativité du temps. Ou la géodésie, avec un positionnement par satellites (GPS) qui pourrait se faire au centimètre près. Ou encore la climatologie, avec des satellites plus précis dans leur mesure du niveau des mers – pour mieux définir comment le climat se réchauffe. ☞