Numéro 9

unineWS

Un laboratoire au plus près de la seconde

Précision
A 0,000000000000001 seconde près!

Miniaturisation
Des horloges taillées pour l'espace.

Applications
Synchroniser, guider, tester Einstein…

Université de Neuchâtel unine

LE TEMPS MESURÉ AVEC PRÉCISION: VITAL!

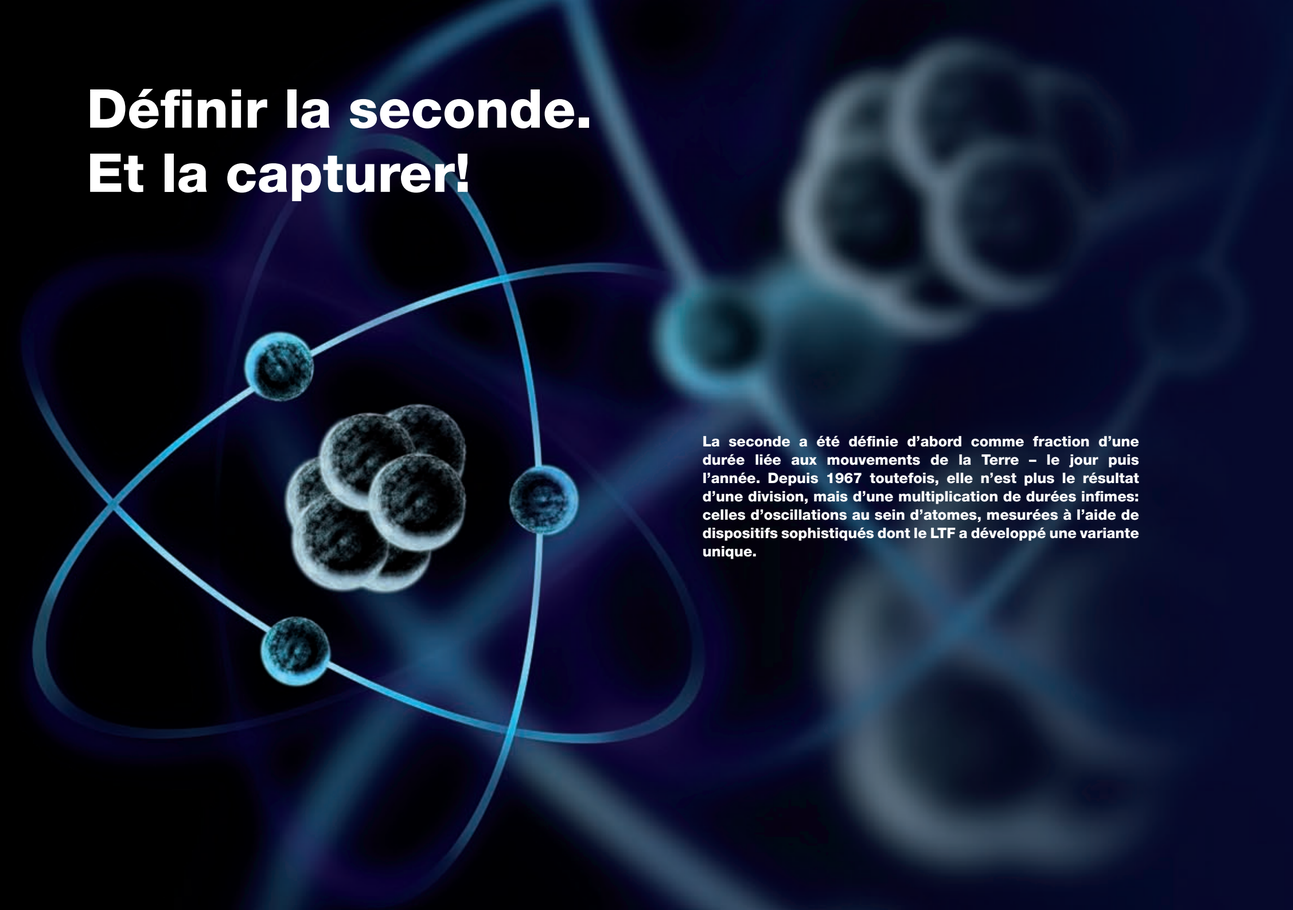
En contribuant à une mesure toujours plus précise du temps, le Laboratoire Temps-Fréquence de l'Université de Neuchâtel s'inscrit dans une aventure commencée au XVIIe siècle! Celle-ci revêt pour notre civilisation une importance bien plus large que les seuls aspects temporels.

Mesurer, conserver le temps au plus précis est-il une quête de la performance pour elle-même? Certes pas. L'idée que cette précision est une nécessité vitale pour notre civilisation remonte au naufrage d'une flottille au large de l'Angleterre, en 1707. A cette époque, si l'on déterminait la latitude aisément, la longitude s'estimait au mieux. On risquait constamment de s'égarer en eaux dangereuses, ou alors on naviguait sur des routes connues et les pirates avaient beau jeu de s'embusquer. Suite à ce naufrage, une belle somme fut promise à qui trouverait le meilleur moyen de déterminer les longitudes en mer. Contre les partisans de mesures astronomiques, John Harrison – un ébéniste! – imagina de comparer entre l'heure locale en un point quelconque du globe et l'heure d'un méridien de référence, conservée à bord par un chronomètre d'une grande précision. Harrison passa sa vie à convaincre de cette idée une commission, à travers quatre prototypes dont le plus abouti parvint à conserver l'heure de référence avec un écart infime en dépit des contraintes d'un voyage en mer.

Cette exigence de référence, de précision, de synchronisation n'a fait que s'accroître depuis lors. Au XXIe siècle toutefois les horloges sont à quartz ou atomiques et s'embarquent à bord de satellites. L'Université de Neuchâtel est engagée dans cette épopée fondamentale par toute une série de recherches et d'applications portant sur la mesure du temps et la conception d'horloges atomiques. Héritier de l'Observatoire Cantonal de Neuchâtel, le Laboratoire Temps-Fréquence a été créé le 1er février 2007. Rattaché à l'Institut de physique, il a été confié au Professeur Pierre Thomann et à son adjoint le Dr. Gaetano Mileti, qui y dirigent une équipe d'une douzaine de docteurs et doctorants, complétée de deux ingénieurs et d'un technicien.

Le LTF est né le 1er Février 2007 du transfert à l'Université de Neuchâtel de deux groupes de l'Observatoire Cantonal dirigés par P. Thomann (refroidissement d'atomes par laser et étalons primaires) et G. Mileti (étalons au rubidium pour l'espace, miniaturisation). Collaborateurs actuels du LTF: C. Affolderbach, T. Bandi, E. Breschi, G. L. Devenosge, G. Di Domenico, V. Dolgovskiy, M. Durrenberger, F. Gruet, G. K. Gulati, A. Joyet, D. Miletic, C. Schori, R. Roy, P. Scherler.

Définir la seconde. Et la capturer!



La seconde a été définie d'abord comme fraction d'une durée liée aux mouvements de la Terre – le jour puis l'année. Depuis 1967 toutefois, elle n'est plus le résultat d'une division, mais d'une multiplication de durées infimes: celles d'oscillations au sein d'atomes, mesurées à l'aide de dispositifs sophistiqués dont le LTF a développé une variante unique.

QUE DE MOUVEMENT DANS UNE SECONDE…

Pierre Thomann est non seulement physicien, il est aussi musicien. Il connaît donc à la fois les mesures sereinement battues par un métronome et ces rythmes endiablés qui se dansent au cœur de l'atome et qui, désormais, définissent la seconde.

Au fil des âges, le temps a été mesuré, comptabilisé dans la course des astres, celle de l'eau ou la combustion des chandelles. Puis l'heure s'est mise à tourner, emportée par des engrenages cliquetant d'un rythme tranquillement obstiné. La seconde finirait par s'entendre, à l'instar des heures carillonnées dont elle ne fut durablement qu'une vague subdivision, *minutum secunda*, minute de second rang, d'où son nom.
Dès lors qu'il s'est agi de définir la seconde très précisément, on a emprunté au jour solaire "moyen" une infime fraction pour référence – un 86'400ème – avant que les irrégularités constatées dans la rotation de la Terre n'entraînent dès 1956 une nouvelle définition, astronomique encore: 1 / 31 556 925,9747ème de la révolution annuelle de la Terre autour du Soleil.
Correction toute provisoire: cette seconde établie par division – avec les tic-tac qui pouvaient évoquer les coups d'un hachoir – serait finalement définie par un rythme autrement plus vif: depuis 1967, la seconde correspond à la durée de 9 192 631 770 transitions entre deux niveaux d'énergie – dits "hyperfins" – de l'état fondamental de l'atome de césium 133 – avec en 1997 ces précisions: au repos, à la température de zéro degré absolu.
10'000'000 fois plus précis et plus stable que le temps établi astronomiquement, le Temps atomique international (TAI) est de toutes les unités la plus précisément déterminée. Mais les performances délivrées par l'atome de césium, qui emmènent jusqu'à la 15e décimale, à 0,000000000000001 seconde près, auront leur temps. Des expériences recherchent le meilleur parmi d'autres candidats: calcium, ytterbium, strontium, mercure, aluminium… dont certains déjà ont fait la preuve de leur supériorité.

En savoir plus:
à voir via **www2.unine.ch/recherche**, un documentaire sur Pierre Thomann et le LTF

UNE FONTAINE D'OÙ JAILLIT LE TEMPS

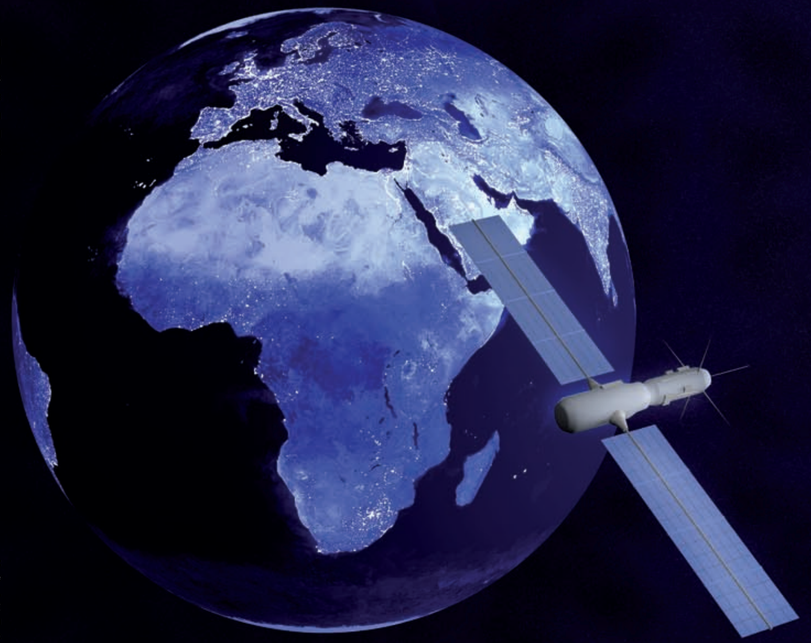
Jadis, un filet d'eau pouvait mesurer le temps. Comme un écho à ces mesures tranquilles, une "fontaine" est au cœur des dispositifs de mesure temporelle les plus précis développés par le LTF. Des atomes s'en écoulent en paraboles attentivement suivies par de puissants équipements.

Les "fontaines" imaginées au LTF et auparavant à l'Observatoire cantonal de Neuchâtel sont uniques au monde! Non parce que, plutôt que de l'eau, en jaillissent des atomes de césium, mais parce que le jet en est continu. Les fontaines pensées en France, en Allemagne ou aux Etats-Unis fonctionnent par jets pulsés, aussi leurs mesures présentent-elles des zones d'ombres. Les "Fontaines Continues Suisses" FOCS-1 et FOCS-2 ont donc une digne place à l'Office Fédéral de Métrologie METAS, à Bern-Wabern, qui les a commanditées.
Leur principe? Dans un cylindre de métal où règne le vide, des atomes de césium sont brusquement freinés par l'impact de rayons laser. Certains atomes sont déviés verticalement avant de retomber selon une trajectoire parabolique. Ils traverseront ainsi deux fois – ascension puis redescente – une cavité à micro-ondes où oscille un champ magnétique, à un rythme très voisin de la fréquence d'oscillation des atomes de césium. Le champ impose fugitivement sa fréquence aux atomes avant qu'ils ne retrouvent la leur. Lors de leur redescente, une comparaison montre si le champ magnétique oscillant a pris de l'avance ou du retard par rapport aux atomes, et des corrections sont opérées en permanence, d'où la précision phénoménale des horloges atomiques. Le jet d'atomes continu plutôt que pulsé permet d'observer la fréquence du champ magnétique en temps réel sans interruption. Avec des jets 40 fois plus intenses, FOCS-2 promet une stabilité améliorée, et sans doute la meilleure combinaison au monde entre exactitude et stabilité, difficile à atteindre avec les horloges pulsées.
Outre ces étalons primaires au césium exceptionnels, le LTF expérimente d'autres étalons de fréquence (optiques et au rubidium) ainsi que des micro-horloges atomiques (suite au projet CIMENT, en collaboration avec l'EPFL).

En savoir plus:
une visite à **www.metas.ch**, domaine «temps & fréquence»

Des applications sur Terre et au-delà...

Notre société de communication et de mouvement est en besoin constant de synchronisation: elle s'est donné un temps universel coordonné par une batterie d'horloges atomiques. Et aussi, aujourd'hui comme hier, des horloges hyper-précises permettent aux voyageurs de se situer non seulement dans le temps, mais également à la surface du globe – ces horloges sont désormais embarquées à bord de satellites, modernes étoiles.



Le Laboratoire Temps-Fréquence bénéficie notamment du soutien de: Fonds National Suisse pour la Recherche Scientifique (FNS), Office Fédéral de Métrologie Suisse (METAS), Secrétariat pour l'Education et la Recherche (SER-SSO), Agence Spatiale Européenne (ESA), Union Européenne (7ème programme Cadre et INTAS-CNES), Association Suisse pour la Recherche Horlogère (ASRH), Fondation en faveur d'un Laboratoire de Recherche Horlogère (FLRH), Fondation Européenne pour la Science (ESF)

PRÉCISION EXTRÊME, LE SIGNE DES TEMPS

Nos réseaux toujours plus denses – transports, informatique, communications – marchent sans cesse au bord du chaos, et y choiraient sans ces horloges de haute précision qui dictent et harmonisent rythmes, positions, directions. En Suisse, les garde-temps ont leur origine à Neuchâtel, notamment au LTF, qui collabore avec des entreprises spécialisées pour leur valorisation industrielle.

Au XIXe siècle, les villes décidaient encore de l'heure locale. Le chemin de fer a forcé l'adoption de temps de référence partagés, pour plus de sécurité et moins de casse-tête pour les horaires. Cette synchronisation devenue vitale est assurée en Suisse par l'Office Fédéral de Métrologie METAS, qui bientôt réalisera et diffusera l'heure légale grâce aux étalons primaires de fréquence développés par le LTF. Ceux-ci sont les vraies sources du temps: rien ne règle leur marche qu'eux-mêmes, tous leurs écarts sont évalués et corrigés – les étalons commerciaux, eux, sont étalonnés sur une référence. Une fois ses «fontaines» entièrement opérationnelles à METAS, le LTF sera donc à l'origine de l'échelle de temps suisse UTC(CH), qui contribue au Temps Universel Coordonné UTC, élaboré, comme le Temps Atomique International (TAI), par le Bureau International des Poids et Mesures, à Sèvres, près de Paris, via 250 horloges atomiques réparties mondialement dans 50 instituts.

Et aussi, écho à l'âge des chronomètres de marine, le LTF s'active dans la technologie du guidage par satellite. Désormais, une position se détermine en comparant le temps que prennent des signaux émis depuis des satellites pour atteindre le sol. L'exactitude d'une position dépend de la précision, de la synchronisation et de la stabilité des horloges en orbite. Le LTF contribuera notamment, par ses recherches en spectroscopie atomique par laser, aux étalons de deuxième génération du système européen de navigation GALILEO.

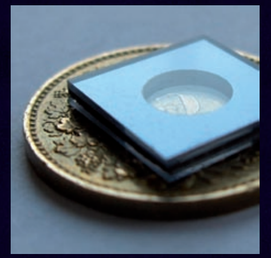
Ce que la physique a donné de connaissances et de moyens à la métrologie et à sa quête de la précision, la métrologie n'a de cesse de le lui rendre: les accomplissements du LTF entre autres, la conquête de décimales toujours plus près de la seconde, ont aussi pour but de tester en retour les théories fondamentales. Dont la relativité d'Einstein…

L'AUTRE EXIGENCE: MINIATURISER!

En même temps que le LTF s'attache à accroître sans cesse la précision de ses dispositifs, il vise à en faire décroître la taille et le poids, notamment en raison des applications spatiales.

A l'instar du système GPS américain, l'européen GALILEO emportera dans chacun de ses 30 satellites quatre horloges, par précaution, une seule fonctionnant à la fois. Deux horloges atomiques à hydrogène d'un volume de 15 dm^3 seront flanquées de deux horloges plus petites, à cellule de rubidium, qui tiennent dans 2 dm^3. Ces dernières ne sont pas les plus performantes, mais il s'agit là d'un compromis obligé: dès lors qu'un satellite glisse en orbite, la masse et l'encombrement ne sont plus un souci mais il n'en va pas de même dans la phase de lancement, où chaque gramme ou presque pèse au plan logistique et financier. La deuxième génération d'étalons de fréquence destinés à GALILEO est l'occasion pour le LTF d'explorer, en collaboration avec l'Institut de microtechnique – intégré à l'EPFL depuis le 1er janvier 2009 –, des voies qui permettront de rapprocher la dimension d'un cœur atomique, qui se mesure encore en cm^3, de celle d'un cœur de quartz, qui ne représente que quelques mm^3.

Dans le même sens d'une miniaturisation accrue, des collaborations sont en cours entre le LTF et divers partenaires industriels spécialisés, pour des étalons miniatures destinés aux télécommunications, s'il fallait souligner encore combien la mesure, la conservation du temps au plus précis n'est pas une performance pour elle-même! Quiconque désormais communique ou se déplace bénéficie de cette quête permanente, sans s'en rendre compte vraiment. Mesurée au plus près, la seconde reste en effet discrète, d'une infinie légèreté: *minutum secunda* toujours?



Cellule à vapeur de rubidium
(LTF - SAMLAB)

En savoir plus: visiter le site web du LTF à l'adresse **www2.unine.ch/ltf**

CAFÉS SCIENTIFIQUES

DES DÉBATS QUI ÉVEILLENT À LA SCIENCE

Cafe'IN

Mercredi 11 février 2009

GPS: S KE G LA P?

Encore moyen d'avoir la paix? La technologie suit-elle nos déplacements à la trace?

Tout quidam dans une grande ville serait filmé des centaines de fois à son insu par des caméras fixées un peu partout: à l'entrée des banques, dans les gares, les centres commerciaux… Tout appel via un téléphone mobile dénonce la position de l'utilisateur. La technologie est désormais au service de la surveillance, les moyens de localiser les individus se multiplient. Où mettre les limites? Des réponses avec des spécialistes de la protection de la sphère privée et des techniciens du positionnement par satellite, qui feront aussi le point sur Galileo, le GPS européen, prêt à se déployer au-dessus de nous…

Débat avec:

Pierre-André Farine, Laboratoire d'électronique et de traitement du signal, EPFL IMT NE
Pascal Luthi, Chef planification et information, Police neuchâteloise
Elsa Dordi, Conseillère juridique, Préposé fédéral à la protection des données et à la transparence (PFPDT)
Pascal Viot, Sociologue, Groupe ESpRI (Etude de la Spatialité des Risques), EPFL

A La Chaux-de-Fonds, au Musée International d'Horlogerie

Mercredi 11 mars 2009

DÉSOLÉ, VOTRE MALADIE N'EST PAS RENTABLE

Mercredi 8 avril 2009

NUCLÉAIRE: VERS UN NOUVEAU *BOOM*?

Mercredi 13 mai 2009

DA SECURI CODE

Mercredi 9 septembre 2009

PROPRES, MAIS PAS FORCÉMENT EN ORDRE

Mercredi 14 octobre 2009

PLUS DE QUARTIER POUR LES VILLAS!

Mercredi 11 novembre 2009

GÉNÉRATION CLIC-DE-SOURIS

A La Chaux-de-Fonds, au Musée International d'Horlogerie

Toutes les infos à l'adresse: **www.unine.ch/cafescientifique**
Quand? Le deuxième mercredi du mois (sauf exception) de 18h à 19h30
Où? Au Café des Arts (sauf 11.02 et 11.11), Rue Pourtalès 5 à Neuchâtel, Tél. 032 724 01 51, Entrée libre!
Organisation: Service de presse et communication de l'Université de Neuchâtel, Société neuchâteloise des sciences naturelles

UniNEws est un dossier de l'Université de Neuchâtel, Faubourg du Lac 5a, 2001 Neuchâtel, Tél.: 032 718 10 40, service.communication@unine.ch, www.unine.ch
Impressum: Service de presse et communication de l'Université de Neuchâtel. Rédaction: Jean-Luc Renck. Layout: Leitmotiv Créative Ground. Impression: IJC
Photo page 2: chronomètre de marine Ulysse Nardin, reproduit avec l'autorisation du Musée International d'Horlogerie, La Chaux-de-Fonds, Suisse