Journée la seconde atomique a 50 ans Observatoire de Paris 13 octobre 2017

Applications sociétales

Philip Tuckey
SYRTE
PSL Research University / Observatoire de Paris, CNRS,
Sorbonne Universités / UPMC, LNE

Impact de la seconde atomique au quotidien

Références de fréquence / temps

十

méthodes pour leur diffusion

Rappel historique

$$v_{Cs} = 9 \ 192 \ 631 \ 770 \pm 20 \ Hz$$

Markowitz, Hall, Essen, Parry 1958

Incertitude

1 / 1 000 000 000 10-9

0.1 ms/jour quelques ms/mois 1 s / 30 ans

Domaine des télécommunications

Subdiviser le support du signal pour le démultiplier :

- en bandes de fréquence
- et/ou en morceaux de temps



... horloge atomique inutile

Réseaux télécoms : grands consommateurs d'horloges atomiques

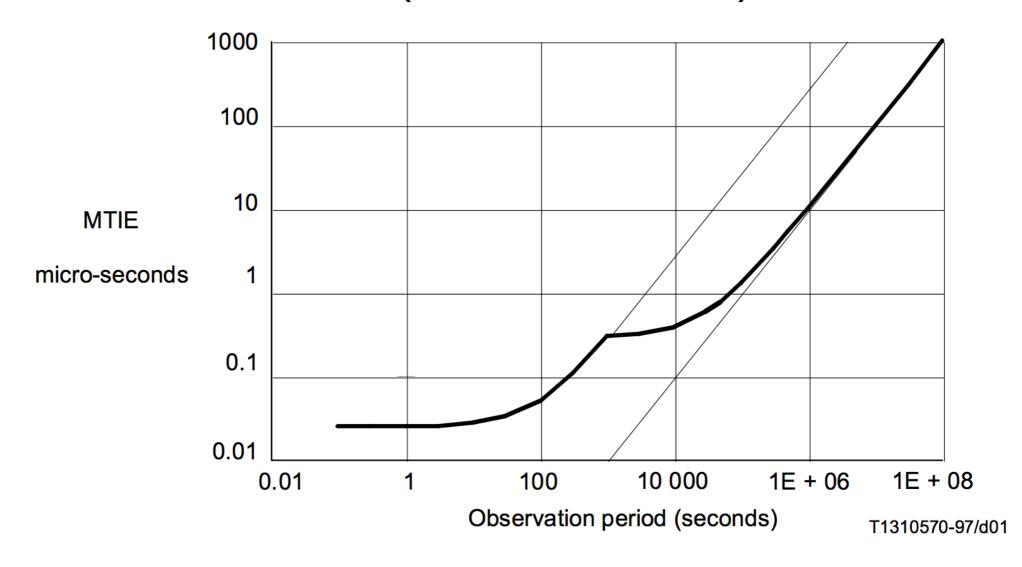




Hewlett Packard

Thales

ITU-T G.811 « Timing characteristics of primary reference clocks » (édition 1 en 1976)



ITU-T G.8272.1/Y.1367.1 (2016)

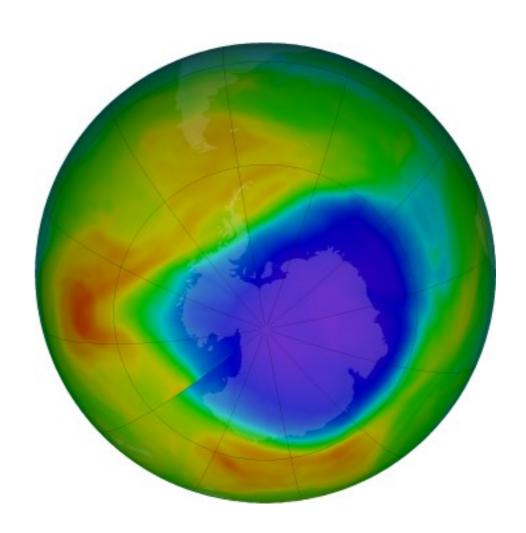
« Timing characteristics of enhanced primary reference time clocks »

~ 100 x meilleures performances pour 5G, éventuellement

Spectroscopie atmosphérique

Surveillance de gaz à effet de serre, météo,...

Trou dans l'ozone, 9 octobre 2017 :



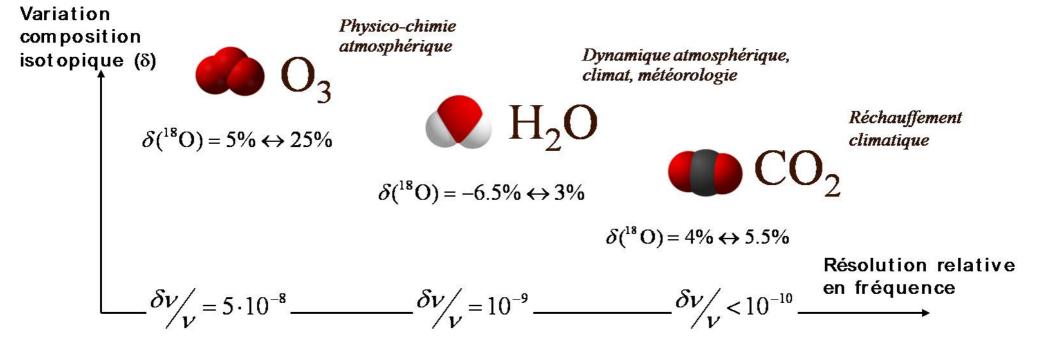
NASA Ozone Watch







Relative uncertainty	State of the art	осо	SWIFT
Frequency position	< 3.10 ⁻⁷	< 3.10-8	< 3.10 ⁻⁹
intensity	< 3 %	< 0.3 %	< 0.1%



Th. Zanon , LERMA

Ces observations s'appuient sur des mesures de laboratoire de précision supérieure.

Evolution vers 10⁻¹² avec REFIMEVE+.

Navigation / positionnement

à l'aide de satellites

« systèmes mondiaux de navigation par satellites » - GNSS

voir la présentation de P. Defraigne

Performances indicatives

10 m

30 ns

Pour maintenir la synchronisation des satellites :

- temps de référence très (très!) précise, au sol
- horloges bord (césium, rubidium, maser hydrogène), stabilité au niveau de quelques ns / jour
- surveillance et remise à l'heure régulière des horloges bords

Effets relativistes:

- ~ 39 μs / jour sur horloges bord GPS
- erreurs de position de 10s km si non pris en compte

Temps légal

Basé sur UTC

...qui n'existe pas*

-> UTC(k)

^{*} en temps réel!

Décret n° 2017-292 du 6 mars 2017 relatif au temps légal français

« l'Observatoire de Paris est chargé d'établir la valeur locale de l'UTC, dénommée « temps légal de base »

. . .

Le temps légal ... est défini à partir du temps légal de base »

temps légal de base = UTC(OP)

Accès au temps légal :

- horloge parlante, 50 ms
- signaux radio (France Inter ondes longues), gamme ms
- GNSS « vue commune », gamme ns
- Internet

Accès au temps des GNSS

Exactitude 100 ns $-1 \mu s$ « facile »

Echelles de référence des GNSS :

- Temps GPS -> UTC(USNO) (note)
- Temps Galileo -> plusieurs UTC(k) européens dont UTC(OP)
- Temps EGNOS -> UTC(OP)

Note : Pas de mécanisme d'équivalence légale pour l'UTC(USNO) ; USNO non membre de l'Arrangement de Reconnaissance Mutuelle.

Le temps sur internet

Plus généralement, sur réseaux à échange de paquets

Difficultés:

- système d'exploitation, logiciel,...
- perturbations dans la propagation des paquets

Avantages:

- simplicité / cout d'accès partagé avec les données
- alternative / complément au temps par GNSS

Demande importante aujourd'hui : performance, fiabilité Investissements en cours, exemple SCPTime en France.

Network Time Protocole NTP

- très répandu, efficace
- manque de garanties dans son implantation de base
- gamme ms possible

IEEE 1588 / Precision Timing Protocol (PTP)

- conçu pour réseaux industriels
- appliqué plus largement : réseaux métropolitains, 4G, liens longue distance, ...
- gamme μs

White Rabbit PTP

- amélioration de PTP, inventé au CERN
- gamme ns
- applicabilité à la distribution de masse ?

Les marchés financiers

- Importante évolution en cours pour améliorer la datation des transactions
- Europe : MiFID II et RTS 25, application jan 2018
- Améliorer le contrôle des marchés
- Lutter contre manipulations, notamment sur la négociation à haut fréquence (HFT), exemple des « flash crash »
- Pour les transactions HFT, datation « au μ s avec une incertitude de 100 μ s »

Merci de votre attention