



<http://efts.eu>



# École Thématique Temps-Fréquence et Applications EFTS 2014

(European Frequency and Time Seminar)

<http://efts.eu>

Dates et lieu :

Du lundi 30 juin 2014 au vendredi 4 juillet 2014 (5 journées)

**23 heures de cours, 10 heures de travaux pratiques.**

**Dans cette école d'été internationale, tous les cours sont donnés en anglais.**

Organisé par le Département Temps-Fréquence (DTF) de FEMTO-ST

CNRS UMR 6174 <http://www.femto-st.fr>

Dans les locaux de

l'École Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Mécanique et des Microtechniques

ENSMM <http://www.ens2m.fr>

26, Rue de l'Épitaphe

CS 51813

25030 BESANÇON CEDEX

---

## PROGRAMME DÉTAILLÉ 2014

### 1 Cours

Total : 23 heures.

#### 1.1 Introduction au Temps-Fréquence

Lundi 30/06 de 9h50 à 10h40 - Noël Dimarcq - CNRS-LNE-SYRTE (F)

#### 1.2 Introduction aux Oscillateurs

Lundi 30/06 de 11h10 à 12h00 - Jean-Pierre Aubry - consultant (F)

Introduction - Généralités sur le T-F - Applications des oscillateurs, performances / domaines d'intérêt - Bruit des oscillateurs - Sensibilité aux effets d'environnement - Classification des oscillateurs - Tendances et évolutions récentes des oscillateurs - Conclusions

### **1.3 Mesures du bruit de phase des oscillateurs $S_\phi$**

Lundi 30/06 de 12h00 à 12h50 - Enrico Rubiola - FEMTO-ST (F)

Principes de base - Méthodes de mesure du bruit de phase - Mesures sur les oscillateurs - Méthode des spectres croisés - Bruit des amplificateurs et des composants - Bruit d'amplitude

### **1.4 La stabilité des oscillateurs dans le domaine temporel $\sigma_y$**

Lundi 30/06 de 14h20 à 15h10 - David A. Howe - NIST - Boulder, CO, USA

Variances (ADEV, MADEV, TDEV, HDEV, TOTDEV, ...) et mesures des variances / stabilité des oscillateurs dans le domaine temporel

### **1.5 Oscillateurs à quartz**

Lundi 30/06 de 15h10 à 16h00 - Jean-Pierre Aubry - consultant (F)

Pourquoi avons-nous besoin d'oscillateurs à quartz ? - Les bases des oscillateurs à quartz : TCXO, VCXO, OCXO, BVA, MCXO - Ondes élastiques et matériaux piézoélectriques : BAW, SAW - Résonateurs à quartz - Dispositifs non-quartz - Oscillateurs et synthèse de fréquence pour les horloges atomiques - Comparaison et futurs développements

### **1.6 Introduction aux horloges atomiques**

Mardi 1/07 de 9h à 9h50 - Gaetano Miletì - Uni Neuchâtel (CH)

Principes de base et éléments constitutifs - Catégories et exemples d'horloges atomiques

### **1.7 Horloges atomiques pour les projets spatiaux**

Mardi 1/07 de 9h50 à 10h40 - Noël Dimarcq - CNRS-LNE-Syrte (F)

### **1.8 Échelles de temps et synchronisation des réseaux télécom**

Mardi 1/07 de 11h10 à 12h00 - Jean-Pierre Aubry - consultant (F)

Les exigences des réseaux télécom en matière de temps-fréquence - Les bases du temps-fréquence pour les télécom - Infrastructures pour les réseaux fixes et mobiles - Les exigences des réseaux de distribution électriques et les réseaux électriques intelligents (*Smart Grids*) - Vulnérabilités du système GNSS - Des solutions pour les transferts de temps à travers un réseau - Synchronisation et échelles de temps dans un réseau électrique - Réseau électrique sécurisé - Vers les technologies du futur

### **1.9 Techniques temps-fréquence *White Rabbit***

Mardi 1/07 de 12h00 à 12h50 - Javier Serrano - CERN (CH)

Développement de systèmes automatisés pour la commande en temps réel et la synchronisation de systèmes d'acquisition de données qui requièrent une très grande précision temporelle - Technologies employées dans les systèmes White Rabbit (WR), mesure des performances, disponibilité de produits commerciaux compatibles avec la norme open-WR - Applications actuelles et futures des systèmes WR

## **1.10 La physique des horloges atomiques**

Mardi 1/07 de 16h30 à 17h20 - Gaetano Miletì - Uni Neuchâtel (CH)

Résonance magnétique et équations de Bloch généralisées - Lasers accordables et bases des interactions atomes-lumière - Principaux domaines d'applications et quelques exemples spécifiques

## **1.11 Relativité pour les systèmes de référence temps-espace et la métrologie des fréquences**

Mercredi 2/07 de 9h à 10h40 - Gérard Petit - BIPM

Introduction à la théorie de la relativité - Définitions actuelles et réalisations de systèmes de référence espace-temps pour le système solaire et pour la Terre - Applications dans le système géocentrique

## **1.12 Échelles de temps**

Mercredi 2/07 de 9h à 10h40 - Gérard Petit - BIPM

Définitions et inter-relations entre TT, TT(BIPM), TAI, UTC, UTC(k), UTCr - Caractéristiques principales de TAI / UTC - Horloges étalons primaires et secondaires - UTCr, une réalisation rapide de UTC

## **1.13 Transferts de temps I - Global Navigation Satellite System (GNSS)**

Mercredi 2/07 de 11h10 à 12h00 - Andreas Bauch - PTB Braunschweig (D)

Exigences du système GNSS vis à vis des horloges - Échelles de temps de référence - La structure du signal et sa modélisation - Ionosphère et équations d'observation - horloges et position des satellites - Corrections de l'horloge des satellites - Retards de propagation dûs à la troposphère - Codes et phases du GPS - Systèmes de synchronisation par satellite - Transfert de temps dans le système GNSS

## **1.14 Interférométrie à très longue base (VLBI)**

Mercredi 2/07 de 12h00 à 12h50 - Ulrich Schreiber - TÜ München (D)

Le Temps-Fréquence en géodésie spatiale - Développement de systèmes de référence géodésiques avec une précision de 1 cm - Performances requises pour la surveillance des changements globaux sur Terre - Futures applications de très haute précision

## **1.15 Transfert de temps II - Two-way Satellite Time & Frequency Transfer (TWSTFT)**

Mercredi 2/07 de 14h20 à 15h10 - Andreas Bauch - PTB Braunschweig (D)

Le système TWSTFT utilisé entre le sol et la station spatiale internationale - Le projet ACES et les systèmes de distribution du temps depuis l'espace - Distribution du temps utilisant les grandes ondes

## **1.16 Liaisons par fibres optiques pour la distribution des fréquences ultra-stables**

Mercredi 2/07 de 15h10 à 16h00 - Anne Amy Klein - LPL Villetaneuse (F)

Liaisons par fibres optiques ultra-stables - Développements actuels et applications

### **1.17 Lasers Ultra Stables**

Jeudi 3/07 de 9h00 à 9h50 - Clément Lacroûte - FEMTO-ST (F)

Les base de l'interféromètre de Fabry-Perot - Cavités Fabry-Perot ultra-stables - Revue des cavités FP - État de l'art des cavités FP

### **1.18 Horloges atomiques miniatures**

Jeudi 3/07 de 9h50 à 10h40 - Christophe Affolderbach - Uni Neuchâtel (CH)

### **1.19 Atomes froids**

Jeudi 3/07 de 14h20 à 15h10 - Clément Lacroûte - FEMTO-ST (F)

Forces optiques agissant sur des atomes neutres - Pièges magnéto-Optiques - Horloges à atomes froids : quelques exemples

### **1.20 Peignes de fréquences optiques femtoseconde**

Jeudi 3/07 de 15h10 à 16h00 - Anne Amy Klein - LPL Villetaneuse (F)

Introduction, comment mesurer une fréquence optique - Le laser femtoseconde en tant que source à peigne de fréquences - Métrologie des fréquences avec un laser femtoseconde

### **1.21 Horloges optiques**

Vendredi 4/07 de 9h45 à 10h35 - Jérôme Lodewyck - (F)

Principes de base des horloges optiques - Effets motionnnels et techniques de piégeage - Comparaison entre deux familles d'horloges optiques : ions et réseaux d'atomes - Perspectives

### **1.22 Effet Leeson**

Vendredi 4/07 de 10h35 à 11h25 - Enrico Rubiola - FEMTO-ST (F)

L'effet Leeson en un clin d'oeil - Bruit de phase et autres - Explication heuristique de l'effet Leeson - Bruit de phase dans les amplificateurs - Applications à différents oscillateurs - Théorie du résonateur - Démonstration formelle de l'effet Leeson - L'effet Leeson dans les lignes à retard - Couplage entre bruit de phase et bruit d'amplitude

### **1.23 Boucles d'asservissement**

Vendredi 4/07 de 11h25 à 12h30 - Gonzalo Cabodevilla - FEMTO-ST (F)

## **2 Travaux pratiques**

Total : 10 heures.

- Thème 1 Mesures de la stabilité des oscillateurs  $S_\phi / \sigma_y$
- Thème 2 Dispositifs piézoélectriques à ondes élastiques de surface et capteurs associés, interrogeables à distance sans fil
- Thème 3 Récepteurs GPS, générateurs de codes pseudo-aléatoires, mise en pratique
- Thème 4 Photonique micro-ondes - Systèmes temps-fréquence à fibres optiques
- Thème 5 Horloges atomiques à atomes froids transportables et miniatures
- Thème 6 Simulations sur ordinateur des méthodes de mesure temps-fréquence (bruit de phase, variances, ... )

Horaires pour les travaux pratiques :

Thème	jour	horaire	contenu
Thème 1	Lundi 30 juin	16h30 à 18h10	Oscillateurs $S_\phi / \sigma_y$
Thème 2 (// 3) * note 1	Mardi 1 <sup>er</sup> juillet	14h20 à 16h	Ondes élastiques de surface / piézo
Thème 3 (// 2)	Mercredi 2 juillet	16h30 à 18h10	GPS, codes pseudo-aléatoires
Thème 4 (// 5) ** note 2	juillet 3	11h10 à 12h50	Photonique micro-ondes - Fibres optiques
Thème 5 (// 4)	Jeudi 3 juillet	16h30 à 18h10	Horloges atomiques miniatures
Thème 6	Vendredi 4 juillet	14h20 à 16h	Simulations sur ordinateur

\* note 1 : le mardi après-midi, un groupe suivra le thème 2 (ondes de surface) et l'autre groupe suivra le thème 3 (GPS). Les groupes échangeront les thèmes 2 / 3 le mercredi après-midi.

\*\* note 2 : le jeudi matin, un groupe suivra le thème 4 (Photonique micro-ondes) et l'autre groupe suivra le thème 5 (Horloges atomiques miniatures). Les groupes échangeront les thèmes 4 / 5 dans l'après-midi.

### 3 Visites et animations proposées

- Lundi 30/06 Visite de l'Observatoire de Besançon
- Mardi 1/07 Visite du Musée du Temps
- Mercredi 2/07 Séance en nocturne avec les lunettes de l'Observatoire (selon la météo)
- Jeudi 3/07 Soirée banquet
- Vendredi 4/07 Visite des labos FEMTO-ST

Contacts :

frequency-time-seminar@femto-st.fr  
<http://efts.eu>

EFTS 2014 - Aryanne Hicks  
 FEMTO-ST / DTF / ENSMM  
 26, Rue de l'Épitaphe  
 CS 51813  
 F-25030 BESANÇON cedex  
 Aryanne Hicks (+33)(0)3 81 40 28 30

17 mai 2014