



## STAGE GESTION D'ESSAIS

**Cette formation prend en considération tous les aspects d'une chaîne d'acquisition numérique, de l'unité physique jusqu'au rapport d'essai, tel que précisé dans le contenu du cours ci-après.**

### POURQUOI CES STAGES

Créé en 1996, ces stages font suite à la demande de clients souhaitant une formation pratique à l'utilisation de systèmes numériques et de chaînes de mesure complètes, et plus globalement, à la gestion et réalisation d'un essai. En effet, la spécialisation des formations proposées actuellement sur le marché, fait qu'elles s'adressent à un public très averti et occultent les principes de base pourtant fondamentaux de la réalisation d'un essai

### INTERVENANT PRINCIPAL

Christophe BUET participe à l'enseignement de **Masters** professionnels IDIM (Ingénierie du Diagnostic, de l'Instrumentation et de la Mesure) option ICM (Instrumentation, Capteurs et Mesures), à l'**Université Paul Sabatier Toulouse III**, notamment en charge des TD et TP instrumentation dédiés aux essais. Il assure également les formations "Mesure Instrumentation Essai 1" pour **AIRBUS** Toulouse et ses sous-traitants. Ingénieur, il est notamment chargé au sein d'**ANICIA** des missions d'expertise, de conseil et d'aide à la définition de projet dans le domaine de l'acquisition numérique depuis 1989. La responsabilité préalable d'un centre de maintenance d'appareils de mesure habilité BNM4 lui a conféré le souci métrologique indispensable à sa mission. Il assure la maîtrise d'œuvre de réalisation de laboratoire d'essais et bancs de test ainsi que les mises en service de chaînes d'acquisition auprès des entreprises. A l'origine de ces stages en 1996, il a encadré leur modification en 2012 et est le garant de leur constante évolution.

### SUPPORTS DE STAGES

Un support informatique vidéo-projeté illustre les concepts exposés. Le support de cours, contenant également les copies couleur des pages rétro-projetées, est remis à chaque participant au fur et à mesure de l'avancement du cours. Les exercices pratiques sont réalisés principalement à l'aide des matériels ANICIA (Enregistreurs de Transitoire, conditionneurs de signaux, filtres, acquisition numérique autonome) ainsi que des logiciels CAP et ET pour les configurations, dépouillements, analyse traitements des signaux. Les programmes tiendront compte des centres d'intérêts des participants.

### OBJECTIF

Aider les utilisateurs d'essais dans la définition, le choix et la mise en œuvre d'une chaîne de mesure numérique en toute connaissance. L'accent est porté sur chaque élément de la chaîne de mesure du capteur au numériseur, afin d'assurer la maîtrise de leurs caractéristiques, compatibilité, et incertitudes jusqu'à rédiger le rapport d'essai.

### A QUI S'ADRESSE CES STAGES

Aux techniciens, ingénieurs et scientifiques confrontés aux problèmes de définition, mise en place, réalisation et gestion d'essais basés sur l'acquisition numérique du signal dans leurs domaines respectifs. Ils peuvent être inexpérimentés en essais mais connaissent le maniement du multimètre et de l'oscilloscope.

### Cette Formation se décompose en 2 Parties de 3,5 jours chacune :

#### Partie 1 : ANALOGIQUE

La partie analogique va s'intéresser en premier lieu aux unités physiques à mesurer qui définissent le capteur nécessaire qui imposera son conditionneur. Les différentes unités physiques sont étudiées afin d'en comprendre leur environnement et leurs spécificités. Les liaisons entre les différents éléments constitutifs de la chaîne de mesure sont également abordées et leurs influences étudiées. Ensuite les caractéristiques techniques de capteurs, conditionneurs systèmes d'acquisition, sont décortiquées pour déchiffrer rapidement les informations les plus significatives, avec explications des relations entre %, ppm, LSB et dB.

#### Partie 2 : NUMERIQUE

La partie numérique va s'intéresser à la bande passante du signal (et de la chaîne) pour définir la fréquence d'échantillonnage. Le repliement imposant la présence de filtres analogiques leurs caractéristiques sont étudiées pour garantir la précision du signal jusqu'à la numérisation. Les méthodes des calculs d'incertitudes sont étudiées pour qualifier les mesures. Les traitements de base valident l'acquisition tandis que les traitements évolués vont permettre d'extraire des informations importantes des acquisitions. Les normes sont disséquées pour garantir un rapport d'essai complet et facilement exploitable.



## SOMMAIRES GESTION D'ESSAIS

### Première Partie – Analogique

#### I DEFINITION DE L'ESSAI

- 1) Le besoin final recherché
- 2) Phénomènes physiques à mesurer
- 3) Protections
  - A) De l'utilisateur
  - B) Du signal
- 4) Définition du capteur
  - A) Les exigences du Signal
  - B) Les exigences du Capteur
  - C) Les Conditionneurs
  - D) Les effets physiques
  - E) Les principaux types de Capteur :
    - ↳ Capteurs de température
    - ↳ Capteurs d'humidité (hygrométrie)
    - ↳ Capteurs acoustiques
    - ↳ Capteurs de pression
    - ↳ Capteurs de débit, anémomètres
    - ↳ Capteurs de déformation, de force
    - ↳ Capteurs d'accélération, vibration, choc
    - ↳ Capteurs de position, déplacement
    - ↳ Capteurs de courant (continu, alternatif)
    - ↳ Les Capteurs "Intelligents" TEDS
    - ↳ Les Capteurs "Microsystème" MEMS

Technologie des capteurs :

- Piézo-résistif (pont de Wheatstone)
  - Piézo-électrique (ampli de charges)
  - Electronique Incorporée ou intégrée (E.I.)
  - LVDT RVDT, Capacitif, Asservi, Inductif (Foucault)
  - Laser, Effet Hall, Tore de ROGOWSKI...
- 5) Le câble de liaison et les Filtres
  - 6) Déphasage, retard temporel
  - 7) Blindage de structure et mise à la Terre
  - 8) Les imperfections de la Mesure
    - A) Non-linéarité
    - B) Bruit
    - C) RRMC (CMRR)
    - D) Erreurs de gains et offsets
    - E) Limitation de bande
    - F) dérives

- 9) Analyse de caractéristiques techniques
  - A) Les différentes expressions d'incertitude (% , ppm, dB et LSB)
  - B) Le rapport Signal sur Bruit de l'essai
  - C) Analyses de caractéristiques constructeur, interprétation des informations, capteurs

#### V TRAVAUX PRATIQUES

- 1) Visualisation des phénomènes fréquentiels

### Deuxième Partie – Numérique

#### II LE NUMERISEUR

- 1) Synoptique
- 2) Les technologies utilisées

#### III LA NUMERISATION

- 1) Bande passante du signal
- 2) Bande Passante de la chaîne de mesure
- 3) Les Filtres (analogiques, antirepliement) Chebyshev, Butterworth et Bessel
- 4) L'échantillonnage
  - A) La résolution d'amplitude (verticale)
  - B) La résolution temporelle (horizontale)
- 5) Capture du phénomène
  - A) Mise à l'échelle physique des paramètres
  - B) Déclenchements (trigger)
  - C) Durée du phénomène
  - D) Phénomènes répétitifs
  - E) Horodatation
  - F) Vitesse de transfert du bus de liaison

#### IV L'ANALYSE DU SIGNAL

- 1) Le contrôle de la réalité physique du signal numérisé
- 2) Le calcul d'incertitude de la chaîne de mesure (recommandations GUM NF ENV 13005)
  - 2-1) La méthode des 5 M
  - 2-2) Quantifier les incertitudes
    - A) Incertitude de Type A
    - B) Incertitude de Type B
  - 2-3) Incertitudes composées
  - 2-4) Incertitudes élargies du facteur k
- 3) Ecart maximum sur valeur nominale
- 4) Les sauvegardes
- 5) Le dépouillement du signal, traitements de base (ax+b, +, -, x, /, aire, rms, moyenne, filtres, fonction de transfert, échelle Log ou lin...)
- 6) Les traitements évolués (Intégrales, Dérivées, les FFT et fenêtrages, SRC,...)
- 7) Les traitements automatiques
- 8) Les Normes
  - Norme ISO 9000:2015
  - Norme ISO 17025:2005
  - Normes spécifiques basées sur l'ISO 9000
  - Norme ISO 14000:20015
  - Norme ISO 50000:2011
- 9) Le rapport d'essai

- 2) Réalisation d'un essai et de son rapport

Les concepts exposés sont illustrés par des exemples concrets issus de l'industrie et leur assimilation facilitée par des applications pratiques et petits tests/jeux qui permettent de les démystifier et d'en vulgariser l'utilisation.

Le nombre restreint de participant limité à 6 par stage permet une ambiance conviviale qui favorise l'expression de chacun afin de mettre en commun les expériences et compétences de tous et de pouvoir exprimer toutes les interrogations et incompréhensions sans retenue.



## Extraits du support de stage

En fonction des besoins, on utilise différents types de filtre tels que :

- Bessel.
- Butterworth.
- Chebyshev.

**Exemple** : pour un filtre du 6ème ordre.

\* **Pente de coupure** pour un passe-bas de fréquence 1 KHz (à -3 dB) :

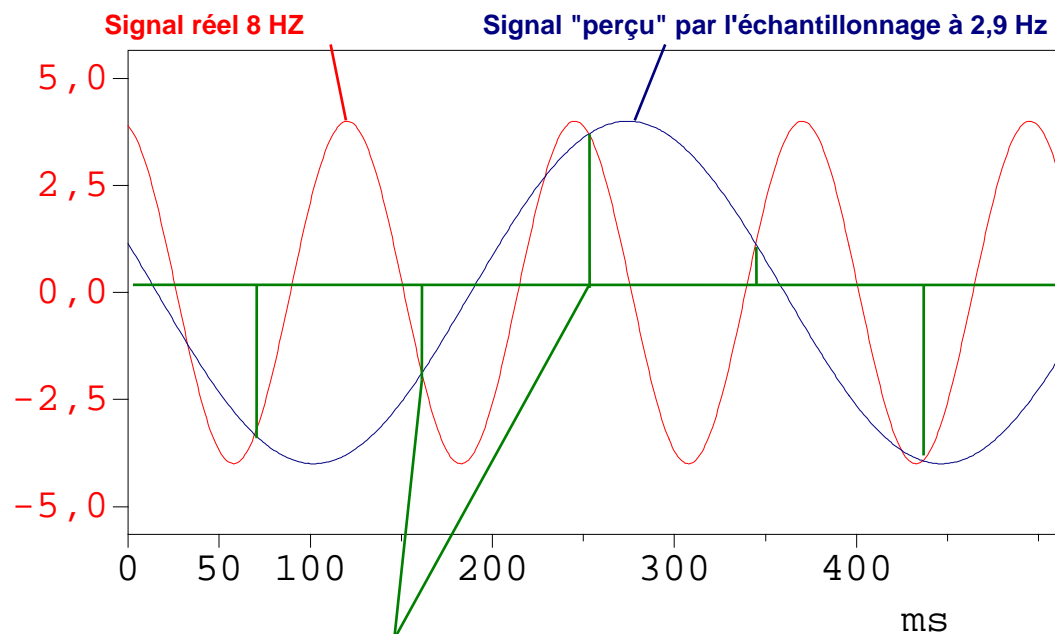
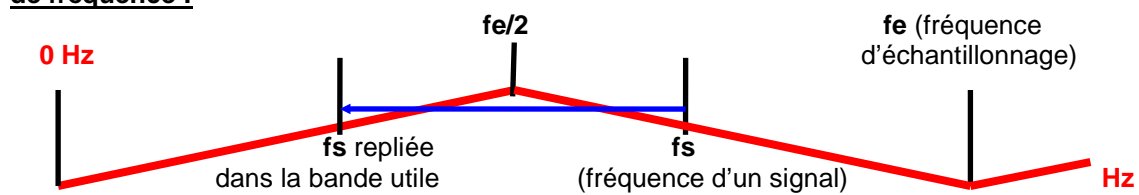
- **Bessel** : à -80 dB, coupure à **8 KHz**.
- **Butterworth** : à -80 dB, coupure à **4 KHz**.
- **Chebyshev** : à -80 dB, coupure à **3 KHz**.

\* **Temps de réponse** (figure page 22) :

- **Bessel**  $\approx 1$  ms.
- **Butterworth**  $\approx 2,5$  ms.
- **Chebyshev**  $>$  à 5 ms.

**Attention** : Lors de l'utilisation d'un filtre analogique, le signal perd définitivement les fréquences filtrées. Le dépouillement et les traitements ultérieurs doivent bien considérer que l'enregistrement est tronqué de sa partie filtrée.

### Repliement de fréquence :



**Tops d'horloge d'échantillonnage  
fréquence à 10,9 Hz.**

## Extraits du support de stage



### Les exigences du signal.

① La famille du capteur est déterminée par l'unité physique du phénomène (listés en I-2 page précédente).

② Dans cette famille, le type de capteur adapté à l'essai (listés en I-4-D en pages suivantes) en fonction de :

- l'encombrement (taille, poids).
- le temps de réaction.
- la sensibilité à l'environnement climatique.
- la stabilité nécessaire dans le temps.

③ Puis le capteur en fonction du domaine de mesure :

- la bande passante du capteur (supérieure à celle du signal).
- la précision que nécessite la mesure.
- La valeur maximale possible de la mesure.
- la valeur minimale possible de la mesure (en rapport avec la précision souhaitée).

### Les exigences du Capteur.

- \* Sa position au plus près de la source à mesurer.
- \* Sa liaison (fixation) avec la source à mesurer.
- \* Ne pas (ou le moins possible) perturber par sa présence la source à mesurer.

Suivant les unités physiques, par exemple :

- par son poids : pour des forces, couples, pressions, accélérations, vitesses, déplacements.

- par son impédance : pour des tensions, courants, puissances.

- \* La validité du dernier étalonnage (PV de vérification).
- \* Les liaisons avec le prochain élément de la chaîne de mesure.
- \* Son conditionnement éventuel.

### La jauge et son principe :

Un fil fin que l'on soumet à une traction s'allonge sous l'effet de la charge et sa section diminue causant une augmentation de la résistance du fil. On traduit ainsi une variation de déformation en une variation de résistance électrique. La sensibilité d'une jauge est spécifiée en terme de facteur de jauge (K); le rapport entre la proportion de changement de résistance et la proportion de changement de longueur :  $dR/R =$  variation unitaire de la résistance

$dL/L =$  variation unitaire de la longueur

$\epsilon =$  déformation unitaire (strain) nommée déformation (déf.).

$$K = \frac{dR / R}{dL / L} = \frac{dR / R}{\epsilon}$$

La constante K dépend des matériaux :

$K \approx 2$  pour le constantan (Cu-Ni), le Nickel-Chrome,  $K \approx 3.5$  pour l'élinvar (Fer-Chrome-Molybdène) et  $K \approx 0.5$  pour le manganin (Cu-Ni-Mn).

Plus le facteur de jauge est grand, plus la jauge est sensible.

Les unités de la déformation  $\epsilon$  (en fait, il n'y a pas d'unité) sont exprimées en %, en po/po, en m/m, en mm/m ou en  $\mu\text{m}/\text{m}$  (1 millionième de mètre par mètre de longueur) soit microdéformations ( $\mu\text{déf}$  ou  $\mu\text{strain}$ ).