



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-joint.

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 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 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 des pages rétro-projetées, est remis à chaque participant. Les cours sont illustrés principalement à l'aide des matériels ANICIA (Transitoire, conditionneurs, acquisition autonome) ainsi que des logiciels parmi **DASYLab™**, **LabView™**, **MAGALI®**, **DIAdem™**, **CAP** et **ET** pour configurations, dépouillements et traitements. 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 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 des constructeurs 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>Contenu du cours</i>	<i>Page</i>
La société ANICIA	3
I DEFINITION DE L'ESSAI	4
1) Le besoin final recherché	4
2) Phénomènes physiques à mesurer	4
3) Protections	5
A) De l'utilisateur	5
B) Du signal	5
4) Définition du capteur	6
A) Les exigences du Signal	6
B) Les exigences du Capteur	6
C) Les Conditionneurs	6
D) Les effets physiques	7
E) Les principaux types de Capteur :	8
↪ Capteurs de température	8
↪ Capteurs d'humidité (hygrométrie)	12
↪ Capteurs acoustiques	13
↪ Capteurs de pression	14
↪ Capteurs de débit, anémomètres	16
↪ Capteurs de déformation, de force	20
↪ Capteurs d'accélération, vibration, choc	22
↪ Capteurs de position, déplacement	25
↪ Les Capteurs "Intelligents" TEDS	26
5) Le Filtre, les Liaisons	27
A) Le Filtre	27
B) Les Liaisons	28
6) Blindage et Terre	30
A) Blindage d'une structure	30
B) Mise à la Terre	30
7) Les imperfections de la Mesure	31
A) Non-linéarité	31
B) Bruit	31
C) RRM (CMRR)	31
D) Erreurs de gains et offsets	32
E) Limitation de bande	32
F) dérives	32
8) L'incertitude de la mesure	32
A) Les unités (% , ppm, dB et LSB)	33
B) Analyses caractéristiques techniques	33
C) Le rapport Signal sur Bruit de l'essai	33
9) Déphasage-retard temporel	34
VI APPENDICE 67	
2) Préfixes multiplicateurs	68

Deuxième Partie – Numérique

<i>Contenu du cours</i>	<i>Page</i>
II LE NUMERISEUR	35
1) Synoptique	35
2) Les technologies utilisées	36
III LA NUMERISATION	38
1) Bande passante du signal	38
2) Bande Passante de la chaîne de mesure	38
3) Les Filtres antirepliement	38
4) L'échantillonnage	42
A) La résolution d'amplitude (verticale)	42
B) La résolution temporelle (horizontale)	44
5) Capture du phénomène	45
A) Mise à l'échelle physique des paramètres	45
B) Déclenchements (trigger)	45
C) Durée du phénomène	45
D) Phénomènes répétitifs	46
E) Horodatation	46
F) Vitesse de transfert du bus de liaison	47
IV L'ANALYSE DU SIGNAL	47
1) Le contrôle de la réalité physique du signal numérisé	47
2) Le calcul d'incertitude de la chaîne de mesure	47
A) La méthode des 5 M	48
B) Incertitude de Type A	48
C) Incertitude de Type B	49
D) Incertitudes composées	51
E) Incertitude élargie du facteur k	51
F) Ecart maximum sur valeur nominale	51
3) Les sauvegardes	52
4) Le dépouillement du signal, traitements de base	52
5) Les traitements évolués	54
6) Les Normes	58
Norme ISO 9000:2008	58
Norme ISO 17025:2000	59
Normes spécifiques à un secteur d'activité	60
8) Le rapport d'essai	61
V TRAVAUX PRATIQUES	65
1) Visualisation des phénomènes fréquentiels	65
2) Réalisation d'un essai et de son rapport	65
1) Définition d'unités du SI	67
3) Personnages célèbres (par ordre alphabétique)	69

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 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) :

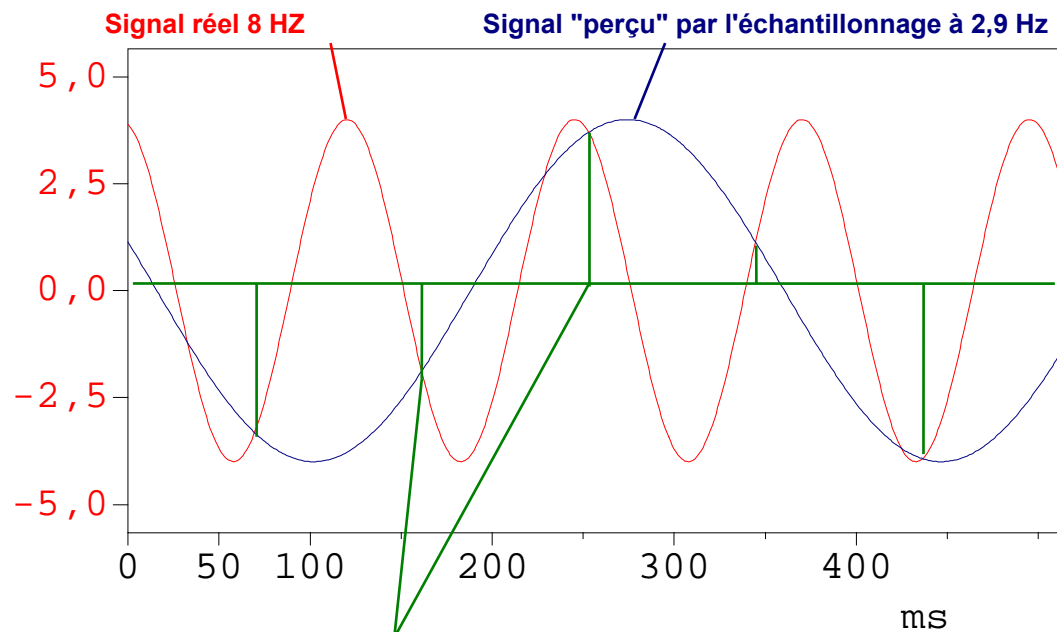
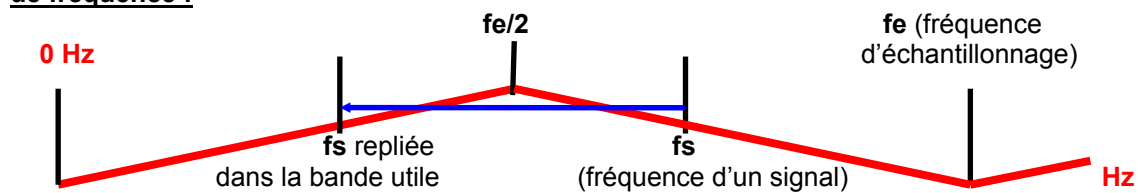
- **Bessel** : à -80 dB, coupure à **8 KHz**.
- **Butterworth** : à -80 dB, coupure à **4 KHz**.
- **Chebyshev** : à -80 dB, coupure à **3 KHz**.

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

- **Bessel** ≈ 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 ϵ (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 μstrain).