



## CONCEPTION DES SYSTEMES MECANIQUES ASSERVIS

### □ LES OBJECTIFS PEDAGOGIQUES :

Apporter les bases théoriques et pratiques pour modéliser et concevoir des systèmes mécatroniques avec leur système de contrôle-commande.

### □ LES PERSONNES CONCERNEES :

Cette formation s'adresse aux ingénieurs ou techniciens désirant acquérir les connaissances dans la conception et l'asservissement des systèmes mécatroniques.

### □ LE CONTENU DE LA FORMATION :

#### 1<sup>ère</sup> journée :

#### ➤ **MATIN - 09H00 – 10H30 : Présentation des principaux processus de conception généralisée.**

- Objectifs de la formation.
- Les processus de conception généralisée.
  - ✓ Présentation des principales entrées / sorties des différents processus, de leurs interactions, de leurs contenus et ceci, sur tout le cycle de vie du système à concevoir.
    - ⇒ La gestion des exigences et des contraintes,
    - ⇒ L'analyse fonctionnelle.
    - ⇒ L'étude de conception (know-how, modélisation / simulation, etc.).
    - ⇒ La gestion des interfaces.
    - ⇒ La gestion des risques.
    - ⇒ Le processus de vérification et de validation.

#### ➤ **MATIN - 10H30 – 12H30 : Les méthodes et outils associés (début).**

#### ➤ **LA MODELISATION.**

- ✓ Modélisation, approche système et conception généralisée. Les enjeux de la modélisation.
- ✓ La place des modèles dans la démarche de conception généralisée (Mise en évidence et résolution des problèmes au plus tôt, avant réalisation de l'ensemble).
- ✓ Utilisation du modèle. Quels types de modèles, quels phénomènes à prendre en compte :
  - ⇒ Utilisation pour les validations fonctionnelles.
  - ⇒ Utilisation pour la compréhension des phénomènes.
  - ⇒ Utilisation pour le dimensionnement.



## CONCEPTION DES SYSTEMES MECANIQUES ASSERVIS

- ⇒ Utilisation pour la conception de lois de Contrôle Commande.
- ⇒ Utilisation pour la spécification des essais de recette composants, sous-systèmes et systèmes. Utilisation de bancs d'essais « virtuels » pour établir les spécifications des montages d'essais ainsi que les résultats attendus.
  - Intégration / validation virtuelle sur la base du modèle.
  - Vérification des exigences.
  - Sûreté de fonctionnement.

### 1<sup>ère</sup> journée :

#### ➤ APRES MIDI - 14H00 – 17H30 : Les méthodes et outils associés.

##### ➤ **LE DIMENSIONNEMENT EN PUISSANCE.**

- ✓ Mise en forme du cahier des charges fonctionnel (à partir d'une spécification de réponse à l'échelon, à partir d'une spécification de réponse en rampe, à partir d'une réponse sinusoïdale).
- ✓ Dimensionnement et spécification "en puissance".

##### ➤ **L'ANALYSE LINEAIRE (début).**

- ✓ Rappels et terminologies concernant les outils mathématiques utilisés pour l'analyse des systèmes dynamiques :
  - ⇒ le gain d'un système, le décibel (dB),
  - ⇒ la bande passante,
  - ⇒ la fréquence propre, le mode propre,
  - ⇒ le déphasage entre une entrée et une sortie d'un système,
  - ⇒ la dérivée, l'intégrale.
- ✓ Les systèmes dynamiques - Le point de vue du mécanicien.

A partir d'exemples simples et didactiques issus du domaine de la mécanique, nous abordons les notions d'oscillations libres non amorties, oscillations libres amorties, oscillations forcées non amorties et oscillations forcées amorties, ainsi que la notion de mode et fréquence propres.

- ⇒ La masse, la raideur, les frottements (visqueux, secs, hydrodynamiques).
- ⇒ Le système masse/amortisseur.
- ⇒ Le système masse/ressort/amortisseur.



## CONCEPTION DES SYSTEMES MECANQUES ASSERVIS

- ✓ Etude des systèmes linéaires.
  - ⇒ Les équations différentielles. Les équations d'états.
  - ⇒ Le passage du domaine fréquentiel au domaine temporel.
  - ⇒ Le bloc diagramme : construction d'un bloc diagramme et algèbre permettant de calculer les fonctions de transfert et de simplifier un bloc diagramme.
  - ⇒ Les fonctions de transfert. Les pôles et les zéros (résonances et anti-résonances). Les diagrammes (Bode, Nyquist).
  - ⇒ les systèmes de base : retard pur, intégrateur, premier ordre, second ordre. Représentations fréquentielles et temporelles de ces différents éléments.

### 2<sup>ème</sup> journée :

#### ➤ **MATIN - 09H00 – 12H30 : Les méthodes et outils associés.**

#### ➤ **L'ANALYSE LINEAIRE (fin).**

- ✓ La théorie des systèmes asservis.
  - ⇒ Boucles ouverte et fermée.
  - ⇒ La régulation (face à des perturbations externes s'appliquant sur le système) et la poursuite (le suivi de consignes).
  - ⇒ Stabilité. Comment apprécier le degré de stabilité d'un système asservi (marge de gain, marge de phase).
  - ⇒ Précisions statique et dynamique.
- ✓ Les outils d'analyse des systèmes asservis.
  - ⇒ Réponses impulsionnelle, indicielle.
  - ⇒ Les diagrammes (Bode, Nyquist).
- ✓ Les méthodes de contrôle-commande :
  - ⇒ Correcteurs de type P, PI, PID. Présentation, utilisation, réglage.
  - ⇒ Les filtres. Présentation, utilisation et réglage.
  - ⇒ Les retours d'états. Le placement de pôles.

#### ➤ **LE DIMENSIONNEMENT FREQUENTIEL.**

- ✓ Evaluation des dynamiques en présence. Conditionnement fréquentiel du système. Répartition fréquentielle, positionnement modal.



## CONCEPTION DES SYSTEMES MECANQUES ASSERVIS

- ✓ Spécifications de raideurs, d'inerties, de cinématiques (réducteurs, autres...).
- ✓ Choix des capteurs et de leur emplacement.
- **L'ANALYSE NON LINEAIRE (début).**
  - ✓ Introduction de la partie contrôle / commande de façon continue (non prise en compte des problèmes liés à la numérisation des signaux).
  - ✓ Evaluation de l'influence des phénomènes non-linéaires de type jeux, frottements secs, etc ..., sur les comportements statique et dynamique du système asservi à concevoir. Spécification des valeurs limites.
  - ✓ Etude fine du contrôle mis en œuvre lors de la phase d'analyse linéaire ainsi que les valeurs des paramètres de ce contrôle et les caractéristiques techniques des différents composants.
  - ✓ Etude de robustesse. Analyse de l'influence des dispersions de fabrication. Analyse de l'influence du vieillissement des composants.
  - ✓ Spécifications des essais de recettes des différents organes, sous systèmes et pour ceux de l'actionnement complet et pour préciser les résultats attendus lors des différents essais.
  - ✓ Sûreté de fonctionnement (cas de panne, stratégies de replis, seuil de détection des pannes, etc.).
  - ✓ Vérification / validation des fonctions demandées à l'ensemble.
- **APRES MIDI - 14H00 – 17H30 : Les méthodes et outils associés (fin).**
- **L'ANALYSE NON LINEAIRE (fin).**
- **INTRODUCTION DES CONTRAINTES LIEES A LA NUMERISATION DES SIGNAUX.**
  - ✓ Introduction : Intérêts de la prise en compte des problèmes liés à la numérisation des signaux.



## CONCEPTION DES SYSTEMES MECANQUES ASSERVIS

- ✓ Le théorème de SHANNON.
- ✓ Introduction, des phénomènes liés à la numérisation des signaux. Prise en considération des phénomènes liés à la chaîne d'acquisition (capteur, filtrage des mesures, échantillonneur / bloqueur, conversion numérique / analogique, retards, correcteurs numériques).
- ✓ Evaluation des dégradations de performances induites.
- ✓ Spécification de l'ensemble des valeurs des paramètres liés à la chaîne d'acquisition des mesures et aux calculs numériques des correcteurs.
  - ⇒ Caractéristiques des capteurs et des électroniques de conditionnement.
  - ⇒ Bande passante des filtres anti-repliement,
  - ⇒ Périodes d'échantillonnage, locale et de commande du niveau supérieur,
  - ⇒ Résolutions des convertisseurs analogique / numérique et numérique / analogique.
  - ⇒ Retards admissibles.
  - ⇒ Algorithmes numériques des contrôle / commande.

### 3<sup>ème</sup> journée :

- **MATIN - 09H00 – 12H30 : Sensibilisation aux problématiques liées à chaque métier.**
  - ✓ Lien entre les méthodes et outils et les problématiques spécifiques des différents métiers.
    - ⇒ Electrique.
      - Présentation des différents types de moteurs.
      - Les aspects thermiques. Tenue des isolants.
      - La commande rapprochée fournisseurs.
      - La commande en courant, vitesse, position.
    - ⇒ Hydraulique.
      - Les variations des caractéristiques des fluides (viscosité, compressibilité).
      - La dynamique des composants.
      - Les phénomènes liés aux lignes hydrauliques.
      - Les problèmes de stabilité de certains composants.



## CONCEPTION DES SYSTEMES MECANQUES ASSERVIS

⇒ Electronique (contrôle / commande et matériel).

- Les limitations liées aux calculateurs.
- La précision des calculs.
- Les résolutions.

✓ Synthèse et débriefing

➤ **Après midi - 14H00 – 17H30 : Mécanautomatique et Aéronautique (par J-C. MARE)**

✓ Problématiques spécifiques aux systèmes "mécanomatiques" embarqués.

⇒ Aspects puissance.

- Architectures de distribution de puissance plus électriques
- Approches mixtes pour dimensionnement/performance
- Gestion/récupération de l'énergie, évolution des principes de dosage en hydraulique.

⇒ Aspects commande.

- Architectures de commande usuelles
- Architectures de transmission d'information
- Capteurs, réseaux

⇒ Exemples d'actualité (Airbus, Boeing) – du système au composant.

- Architectures 2H-2E
- Freinage électrique
- Actionneurs électro-hydrauliques et électromécaniques
- Nouveaux composants mécaniques et hydrauliques
- Prototypage virtuel, essais, validation
- Evolutions en cours et challenges.

✓ Synthèse et débriefing

### ❑ METHODE PEDAGOGIQUE ET EXEMPLES :

L'ensemble de la formation sera basé sur deux exemples. Le premier servira de fil conducteur au formateur. Le second servira d'exemple pour les stagiaires. Les deux exemples seront à définir / choisir d'un commun accord entre la société client et SHERPA ENGINEERING.

### ❑ LES PRE REQUIS :

Avoir quelques notions en automatique des systèmes.



# CSMA

## CONCEPTION DES SYSTEMES MECANQUES ASSERVIS

### □ LES SESSIONS « CSMA » EN 2017 :

PRIX : (Stages INTRA, nous consulter).

DUREE : 3 jours.

LIEU : Paris (Stages INTRA, nous consulter).

DATES : nous consulter.

### □ STAGES INTRA :

Pour les stages INTRA, le contenu du cours et des exercices pourra être personnalisé pour répondre à des attentes spécifiques.

**Pour tout renseignement complémentaire, merci de contacter :**

**Hassane EL BAAMRANI : Responsable Formation  
SHERPA Engineering – 12, avenue de Verdun – 92250  
LA GARENNE- COLOMBES (France)**

**Tel : 01 47 82 08 23 – Fax : 01 47 82 00 96 –**

**Email : [formation@sherpa-eng.com](mailto:formation@sherpa-eng.com)**

