

Annexe I

PROGRAMME DE SCIENCES INDUSTRIELLES POUR L'INGÉNIEUR POUR LA VOIE MATHÉMATIQUES PHYSIQUE (MP)

1. OBJECTIFS DE FORMATION

1.1. Finalités

L'enseignement des sciences industrielles pour l'ingénieur permet d'aborder avec méthode et rigueur l'analyse de réalisations industrielles. Il renforce l'interdisciplinarité et développe des aptitudes à modéliser des systèmes industriels, à déterminer leurs grandeurs caractéristiques, à communiquer et à interpréter les résultats obtenus en vue de déterminer et vérifier les performances du système réel. Les systèmes choisis relèvent des grands secteurs technologiques : transport, production, bâtiment, santé, environnement... Les concepts et outils présentés sont transposables à l'ensemble des secteurs industriels.

L'approche système permet d'appréhender la complexité des situations concrètes. L'étude des systèmes passe par des phases de modélisation successives qui s'appuient à la fois sur ses finalités exprimées en terme de fonctions, sur les principes physiques et sur sa réalité industrielle.

Les finalités de cet enseignement permettent de développer les capacités et les connaissances pour analyser et modéliser des situations concrètes, valider des performances et communiquer des résultats en s'appuyant sur la maîtrise d'outils fondamentaux de la mécanique, de l'automatique, ainsi que sur les connaissances de base des technologies associées.

1.2. Objectifs généraux

L'enseignement et l'évaluation des connaissances en sciences industrielles pour l'ingénieur reposent sur l'analyse et la critique de systèmes existants. Celles-ci permettent, d'une part, d'analyser les besoins, la structure, l'évolution et la modélisation des réalisations existantes et, d'autre part, d'analyser des architectures définies par un cahier des charges.

À partir de supports industriels placés dans leur environnement technologique, les étudiants devront être capables :

- d'analyser des réalisations existantes, c'est-à-dire :
 - conduire l'analyse fonctionnelle (blocs fonctionnels) ;
 - décrire leur fonctionnement avec les outils de la communication technique ;
 - conduire l'analyse structurelle des blocs fonctionnels principaux (architecture et composants) ;
- de modéliser des mécanismes ou des automatismes, en choisissant un modèle adapté aux objectifs, en formulant les hypothèses nécessaires ;
- de valider les performances globales et le comportement de certains constituants en s'appuyant sur une modélisation et en comparant, par l'association de blocs fonctionnels, des solutions par rapport à un besoin exprimé ;

- de revenir, si nécessaire, sur la modélisation retenue en comparant les comportements de différentes solutions par simulation de modèles de mécanismes et d'automatismes.

La communication, les représentations et les simulations reposent sur l'utilisation des langages techniques et de l'outil informatique.

2. PROGRAMME

2.1. Présentation

L'enseignement des sciences industrielles pour l'ingénieur est organisé autour de l'étude des systèmes techniques industrialisés. Il est abordé dans ses dimensions cognitives, systémiques et méthodologiques.

Cette approche, fondée sur l'étude de solutions industrielles doit privilégier l'acquisition des connaissances de base présentées dans les différentes parties du programme. Ces connaissances sont dispensées et structurées non seulement pendant les cours théoriques mais également à travers des activités dirigées et expérimentales. Celles-ci pourront se dérouler plus favorablement dans un laboratoire de sciences industrielles pour l'ingénieur ou dans une salle dédiée et seront conduites à partir :

- de dossiers techniques incluant des documents multimédia ;
- de supports physiques dédiés (systèmes didactisés ou non) ;
- d'outils de simulation.

Pour assurer la cohérence du programme, la totalité de l'enseignement dans une même division est assurée par un même professeur agrégé de mécanique ou de génie mécanique.

Les différentes parties du programme sont présentées en indiquant pour chacune :

- les contenus accompagnés de commentaires ;
- les compétences attendues.

2.2. Lignes directrices du programme

2.2.1. Étude fonctionnelle et structurelle des systèmes

Cette étude permet d'analyser l'organisation fonctionnelle et structurelle de systèmes industriels conduisant à la compréhension de leur fonctionnement et à une (ou plusieurs) justification(s) de leur architecture.

Elle permet d'acquérir une culture des solutions industrielles qui facilite la compréhension et l'appropriation de tout système nouveau.

Elle s'appuie sur des méthodes d'analyse et des outils reconnus et performants qui permettent d'associer des ensembles de constituants aux fonctions principales, ou des constituants uniques aux fonctions secondaires d'un système industriel.

Elle permet le développement de l'esprit critique vis à vis des solutions employées dans la conception des systèmes.

Les activités de conception ne sont pas au programme de MP.

Les outils de la communication technique et de l'expression technologique dans leur diversité et leur complémentarité permettent de lire et de s'exprimer dans le domaine des sciences industrielles pour l'ingénieur.

La communication technique est abordée sous le double aspect :

- de l'utilisation élémentaire des langages spécifiques que sont les schémas et les graphes ainsi que de la compréhension des représentations volumiques graphiques et assistées par ordinateur ;
- de la maîtrise du vocabulaire technique qui permet la description écrite et orale du fonctionnement ou du comportement des systèmes étudiés.

2.2.2. Étude des performances des systèmes

Cette étude permet de valider certains critères de performance industrielle dans l'environnement socio-économique, culturel et historique.

Elle s'appuie sur la maîtrise d'outils fondamentaux de la mécanique, de la modélisation, de l'automatique ainsi que sur les connaissances de base des technologies associées et sur une démarche expérimentale.

Les connaissances acquises dans l'ensemble des disciplines sont utilisées pour analyser le fonctionnement et vérifier les performances des systèmes étudiés.

Des conclusions argumentées doivent être tirées des résultats d'expérimentations, de calculs ou de simulations au regard des hypothèses formulées et des méthodes utilisées. Il est nécessaire d'insister sur les vertus et les limites de la modélisation utilisée dans la démarche.

L'objectif étant précisé, l'étude de modèles simples doit être privilégiée, en mécanique comme en automatique. On peut ainsi :

- estimer le comportement d'un système ou donner les ordres de grandeur des résultats ;
- effectuer des comparaisons entre le comportement estimé d'un système (dédit du modèle), et son comportement réel (dédit de résultats d'expérimentations) ;
- justifier, en fonction de l'objectif à atteindre, un retour aux hypothèses et/ou une évolution vers un modèle plus adapté.

L'enseignement de la mécanique conduit à appliquer les lois générales et les concepts à des objets ou des systèmes manufacturés. Ces lois et ces concepts sont étudiés ou mis en évidence en cours et lors des activités de travaux dirigés. L'enseignement de l'automatique se limite aux connaissances de base nécessaires pour l'étude des systèmes linéaires, continus et invariants et des systèmes logiques.

L'utilisation de l'outil informatique, pendant les activités de travaux dirigés, exploitant des logiciels de modélisation, de calcul ou de simulation, permet une étude précise du comportement des systèmes étudiés.

PROGRAMME

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>1. ÉTUDE DES SYSTÈMES</p> <p>1) Structure d'un système : - chaîne d'action ; - chaîne d'information ; - chaîne d'énergie.</p> <p>2) Approfondissement des modèles de description fonctionnels et structurels et des outils de la communication technique.</p>	<p>Cette partie du programme ne doit pas être abordée sous forme de cours magistral, mais est incluse à l'occasion d'étude de cas au cours de l'année.</p> <p>Les outils de représentation FAST et SADT restent des outils privilégiés de description fonctionnelle et structurelle. Les compétences acquises doivent permettre de compléter une description fonctionnelle ou structurelle limitée à deux niveaux consécutifs. Le codage des représentations géométrales n'est pas exigé. Donc la lecture de plans est limitée à des cas ne présentant pas de difficultés de décodage et elle est accompagnée de représentations volumiques pertinentes.</p> <p>Seule la schématisation des liaisons usuelles entre deux solides est exigible (norme en vigueur). Les schémas électriques, hydraulique et pneumatique ne doivent être abordés qu'au travers de l'étude de documents techniques et doivent se limiter au minimum indispensable à la conduite de l'étude proposée. Les étudiants doivent disposer en permanence d'une documentation sur la normalisation de ces schémas.</p>
<p>2. MÉCANIQUE</p> <p>A) Dynamique des solides</p> <p>1) Cinétique : - masse, principe de conservation de la masse, centre d'inertie ; - opérateur d'inertie : définition, matrice d'inertie, directions principales, changement de point ; - tenseur cinétique : définition, expression dans le cas du solide indéformable ; - tenseur dynamique : définition, relation entre le moment cinétique et le moment dynamique ; - énergie cinétique : définition, expression dans le cas du solide indéformable.</p>	<p>Les définitions et expressions générales sont dissociées de celles valables uniquement pour le solide indéformable. Les calculs des éléments d'inertie (matrice d'inertie, centre d'inertie) ne donnent pas lieu à évaluation. La relation entre la forme de la matrice d'inertie et la géométrie de la pièce est exigible. Un modèle de système de solides étant fourni, l'étudiant doit être capable de déterminer les tenseurs cinétique et dynamique et l'énergie cinétique d'un ensemble de solides en mouvement par rapport à un référentiel.</p>

<p>2) Puissance :</p> <ul style="list-style-type: none"> - puissance développée par les efforts extérieurs à un système en mouvement par rapport à un repère ; - cas particulier du solide indéformable ; - puissance développée par les efforts intérieurs à un système de solides indéformables. <p>3) Dynamique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - principe fondamental de la dynamique ; - théorèmes généraux ; - théorème de l'énergie cinétique. - application : solide en rotation autour d'un axe fixe, conditions d'équilibrage statique et dynamique. <p>B) Chaînes de solides</p> <p>1) Mise en équation : Analyse géométrique, cinématique et des actions mécaniques.</p> <p>2) Définitions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - degré de mobilité d'un mécanisme ; - degré d'hyperstatisme d'un mécanisme. <p>3) Détermination du degré de mobilité et du degré d'hyperstatisme.</p>	<p>Un modèle de système de solides, en liaisons isostatiques étant fourni, l'étudiant doit être capable de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - déterminer les inconnues de liaison ou les efforts extérieurs spécifiés dans le cas où le mouvement est imposé ; - donner la loi du mouvement sous forme d'équations différentielles dans le cas où les efforts extérieurs sont connus. La résolution de ces équations différentielles peut être conduite indirectement par des logiciels adaptés. L'accent est alors mis sur la modélisation, l'acquisition correcte des données et sur l'exploitation des résultats. <p>La connaissance de l'approximation gyroscopique n'est pas exigée.</p> <p>La cinématique des systèmes de solides a été abordée en première année. L'étude des chaînes des solides doit permettre, sur des exemples de mécanismes, de consolider les connaissances.</p> <p>Un schéma cinématique d'une partie opérative étant fourni, l'étudiant doit être capable de justifier le paramétrage géométrique du mécanisme. Il doit être capable dans le cas d'une chaîne ouverte de conduire une étude dynamique afin de déterminer certaines composantes des torseurs transmissibles, et dans le cas d'une chaîne fermée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'écrire les relations liant les paramètres géométriques afin de déterminer la position de chacun des solides en fonction des paramètres pilotes ; - d'écrire les relations de fermeture de la chaîne cinématique, de résoudre le système associé et d'en déduire le degré de mobilité et le degré d'hyperstatisme ; - de conduire une étude dynamique afin de déterminer les relations éventuelles entre les efforts extérieurs appliqués et certaines composantes des torseurs transmissibles ; - d'imaginer des modèles de mécanismes isostatiques équivalents cinématiquement. <p>Pour l'étude d'hyperstatisme des chaînes simples fermées, on se limite à la démarche cinématique avec l'appui éventuel de logiciels adaptés.</p> <p>Les chaînes complexes ne sont pas au programme.</p>
--	--

3. AUTOMATIQUE

A) Systèmes logiques séquentiels et modèle GRAFCET

Mode mémorisé : actions temporisées, mémorisées, impulsionnelles, maintenues, conditionnelles, limitées dans le temps, retardées.

Représentation multigraphie, synchronisation.

Structure de la représentation : macro-étapes.

Les compétences acquises doivent permettre, à partir de la description comportementale d'un système séquentiel selon un point de vue spécifié, de :

- déterminer le temps de cycle du système ;
- synchroniser les évolutions de certaines parties du système ;
- modifier localement le grafcet pour faire évoluer le comportement (comme par exemple le rajout d'un compteur ou la modification d'une temporisation).

La hiérarchie, le forçage de situations et l'encapsulation sont hors programme.

B) Modélisation et dynamique

1) Approximation linéaire tangente au voisinage d'un point de fonctionnement : modélisation et fonction de transfert.

On précise les liens entre les équations de la dynamique et plus largement les lois de conservation (masse, énergie,...) de la physique et les fonctions de transfert. La notion de causalité est abordée mais ne donne pas lieu à des développements.

On met l'accent sur les approximations faites, leurs cohérence et domaine de validité par rapport aux objectifs.

On privilégie l'identification à partir des courbes de réponse.

La connaissance des transformées de Laplace des fonctions utilisées ne peut être exigée.

2) Définition d'un système asservi : boucle de rétroaction ou «feedback».

On insiste sur le fait qu'un système bouclé n'est pas nécessairement asservi.

3) Stabilité :

- définition ;
- équation caractéristique, pôles ;
- cas d'une perturbation additive.

La définition de la stabilité est faite au sens : entrée bornée / sortie bornée (EB / SB).

Le critère algébrique de ROUTH est limité aux équations caractéristiques du troisième ordre.

On insiste sur le fait qu'un système perturbé conserve la même équation caractéristique dans le cas de perturbation additive.

4) Pôles dominants et réduction de l'ordre du modèle :

- principe ;
- justification.

Les étudiants doivent être capables, à partir des pôles dominants qui déterminent la dynamique asymptotique du système, de réduire l'ordre de la fonction de transfert selon l'objectif visé.

C) Performances et contrôle

1) Précision d'un système asservi :

- définition de la précision en régime permanent ;
- précision en régime permanent pour une entrée en échelon, une entrée en rampe, une entrée en parabole.

L'amélioration des performances apportée par la fermeture de la boucle est illustrée.

Il faut attirer l'attention des étudiants sur la nécessité de comparer des grandeurs homogènes, par exemple la nécessité d'adapter la sortie et sa consigne.

<p>2) Analyse et amélioration des performances d'un système asservi :</p> <ul style="list-style-type: none">- critères graphiques de stabilité dans les plans de Black, Bode, Nyquist ; marges de stabilité.- influence du gain sur la stabilité, la rapidité et la précision ;- étude d'une correction proportionnelle et proportionnelle - intégrale ;- prise en compte d'une perturbation constante ;- prise en compte d'une perturbation variable.	<p>Les critères graphiques sont limités au critère du revers.</p> <p>Le critère de Nyquist doit être présenté mais sa maîtrise n'est pas exigée.</p> <p>À partir d'un système asservi, défini par sa fonction de transfert en boucle ouverte ou par une représentation fonctionnelle ou de structure, les compétences acquises doivent permettre :</p> <ul style="list-style-type: none">- de justifier un modèle simple en reliant les coefficients de la fonction de transfert à certains paramètres physiques du système ;- d'analyser sa stabilité et sa robustesse (marges de stabilité) ;- de déterminer la précision en régime permanent ;- de vérifier la cohérence du modèle choisi en comparant les résultats obtenus sur le modèle avec des résultats d'expérimentation sur le système réel ;- de proposer des améliorations au modèle et d'en déduire le réglage du gain du système réel.
--	---