

PROGRAMME DE SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGENIEUR DANS LA FILIÈRE TSI 1^{ère} année Génie mécanique

OBJECTIFS DE FORMATION

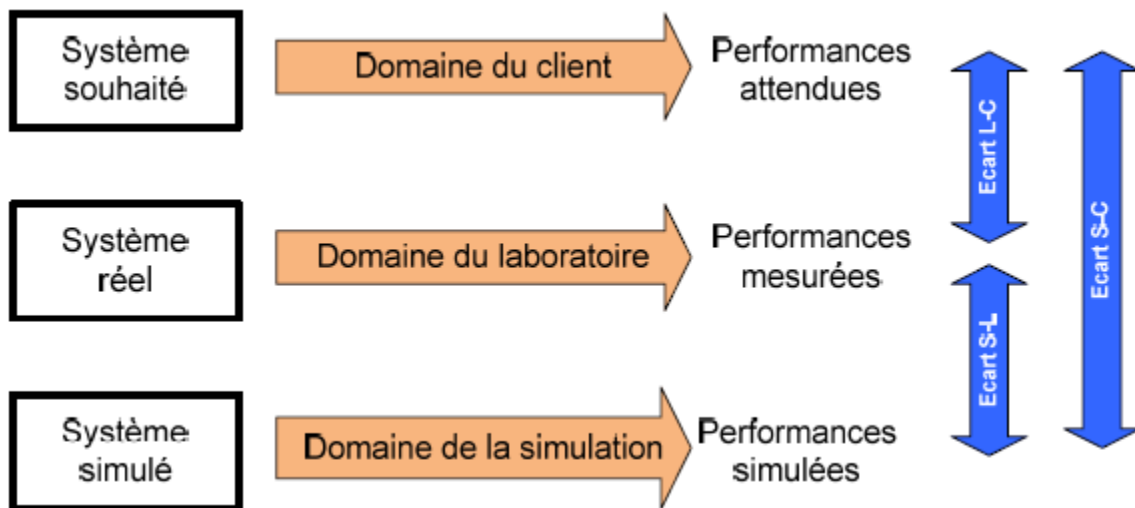
Finalités

La complexité des systèmes et leur développement dans un contexte économique et écologique contraint requièrent des ingénieurs, ayant des compétences scientifiques et technologiques de haut niveau, capables d'innover, de prévoir et maîtriser les performances de ces systèmes.

Le programme de sciences industrielles de l'ingénieur s'inscrit dans la préparation des élèves à l'adaptabilité, la créativité et la communication nécessaires dans les métiers d'ingénieur.

L'enseignement des sciences industrielles de l'ingénieur a pour objectif d'aborder la démarche de l'ingénieur qui permet, en particulier :

- de conduire l'analyse fonctionnelle, structurelle et comportementale d'un système pluritechnologique ;
- de vérifier les performances attendues d'un système, par l'évaluation de l'écart entre un cahier des charges et des réponses expérimentales ;
- de proposer et de valider des modèles d'un système à partir d'essais, par l'évaluation de l'écart entre les performances mesurées et les performances simulées ;
- de prévoir les performances d'un système à partir de modélisations, par l'évaluation de l'écart entre les performances simulées et les performances exprimées dans le cahier des charges ;
- d'analyser ces écarts et de proposer des solutions en vue d'une amélioration des performances.



Les systèmes complexes pluri-technologiques étudiés relèvent de grands secteurs technologiques : transport, énergie, production, bâtiment, santé, communication, environnement. Cette liste n'est pas exhaustive et les enseignants ont la possibilité de s'appuyer sur d'autres domaines qu'ils jugent pertinents. En effet, les compétences développées dans le programme sont transposables à l'ensemble des secteurs industriels.

I - Analyse fonctionnelle et structurelle- Diagrammes SysML :

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires et limitations
<p>11 -Analyse fonctionnelle</p> <ul style="list-style-type: none"> - Besoin à satisfaire. - Expression fonctionnelle du besoin. - Frontière d'étude. - Cahier des charges fonctionnel. - Architecture fonctionnelle. - Diagramme des exigences. - Diagramme des cas d'utilisation. <ul style="list-style-type: none"> - Contraintes de l'environnement. - Bilan carbone. - Analyse du Cycle de Vie (ACV). <p>12 - Analyse structurelle</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diagramme de blocs, diagramme de blocs internes, diagramme paramétrique. - Diagramme chaîne d'énergie – chaîne d'information. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Décrire le besoin ▪ Présenter la fonction globale ▪ Identifier les domaines d'application, les critères technico-économiques ▪ Identifier les contraintes ▪ Qualifier et quantifier les exigences (critères, niveaux). ▪ Identifier et caractériser les fonctions de Service <ul style="list-style-type: none"> ▪ Évaluer l'impact environnemental (matériaux, énergie, nuisances) ▪ Établir une analyse du cycle de vie (ACV) et analyser les résultats ▪ Effectuer un bilan carbone <ul style="list-style-type: none"> ▪ Identifier les fonctions techniques ▪ Déterminer les constituants dédiés aux fonctions d'un système et en justifier le choix ▪ Identifier les architectures fonctionnelle et structurelle 	<p>Dans le cas d'un système complexe, l'analyse et la description fonctionnelle doivent être partielles, l'étude se limitera donc à une seule chaîne d'énergie .</p> <p>La sensibilisation à l'analyse et à la description fonctionnelles doit être abordée à travers des exemples pertinents</p> <p>L'analyse du cycle de vie se limite à l'étude d'un produit simple, ou d'une partie d'un système.</p> <p>Les normes de représentation du langage SysML sont fournies, la connaissance de la syntaxe n'est pas exigible.</p>

<ul style="list-style-type: none"> - Architecture structurelle. - Nature des flux : variables potentielles (tension, vitesse, température) et variables de flux - (courant, force ou couple, flux thermique, ...). - Architecture fonctionnelle des produits et systèmes : chaîne d'énergie, chaîne d'information. - Relations entre chaîne d'énergie et chaîne d'information : grandeurs physiques à acquérir et ordres de commande. - Fonctions élémentaires d'une chaîne d'énergie : alimenter, distribuer ou moduler, convertir, transmettre et agir sur la matière d'oeuvre. - Fonctions élémentaires d'une chaîne d'information : acquérir, traiter et communiquer. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identifier la nature des flux échangés (Matière, Énergie, Information) traversant la frontière d'étude ▪ Préciser leurs caractéristiques (variable potentielle, variable de flux) ▪ Identifier la nature et les caractéristiques des flux échangés ▪ Vérifier l'homogénéité et la compatibilité des flux entre les différents constituants ▪ Identifier et décrire les chaînes d'information et d'énergie d'un système 	<p>Les diagrammes SysML sont présentés à la lecture. Certains diagrammes pourront être modifiés ou complétés mais la syntaxe du langage SysML doit être fournie.</p> <p>Variables potentielles (vitesse, vitesse angulaire, tension, température, ...) et variables de flux (force, couple, courant, débit, flux thermique, ...).</p>
--	--	--

<ul style="list-style-type: none"> - Nature, caractéristiques et flux des éléments transformés par le produit : Matière, Énergie et Information. - Homogénéité des chaînes fonctionnelles et compatibilité des paramètres d'interface entre les différentes fonctions d'une chaîne. <p>13 – Définir les écarts</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Définir les écarts S-L, L-C et S-C 	<p>Se limiter aux définitions des écarts en se référant au schéma de la page 1/18</p>
---	--	---

2 -Représentation des produits :

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires et limitations
<p>21 Schématisation des solutions</p> <ul style="list-style-type: none"> - Schéma cinématique (1), schéma d'architecture (2). - Graphe de structure <p>22-Représentation géométrique du réel</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dessin et croquis à main levée d'une solution. - Représentation d'une solution constructive en 3D par un modeleur volumique. - Assemblage sous contrainte. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Réaliser le graphe de structure de tout ou partie d'un mécanisme ▪ Proposer un schéma cinématique (plan ou 3D) minimal et d'architecture de tout ou partie d'un mécanisme ▪ Lire et interpréter un schéma ▪ Elaborer la maquette numérique de la partie étudiée du produit en intégrant les contraintes fonctionnelles d'assemblage 	<p>(1) C'est le schéma minimal qui permet la description des mouvements.</p> <p>(2) Le schéma d'architecture traduit la réalité technique de réalisation des liaisons et permet de calculer les actions mécaniques.</p> <p>Les normes de représentation des schémas sont fournies.</p> <p>Seules les notions de bases sur les modeleurs volumiques sont abordées (création d'une pièce simple, assemblage et</p>

<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation de bibliothèques d'éléments standards. 		<p>visualisation d'une maquette numérique).</p> <p>Aucune connaissance affiliée aux normes des dessins techniques n'est évaluable.</p>
--	--	--

3-Chaîne d'énergie :

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires et limitations
<p>31 -Alimenter en énergie et stocker l'énergie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sources d'énergies. - Variables potentielles, variables de flux. - Grandeurs physiques disponibles. - Constituants de distribution. <ul style="list-style-type: none"> • <i>accumulateurs</i> • <i>pompes</i> <p>32- Distribuer l'énergie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nature et caractéristiques des grandeurs physiques d'entrée et de sortie - Distributeurs hydrauliques et pneumatiques <p>33 Convertir l'énergie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Caractéristiques d'entrée et de sortie. - Modes de fonctionnement, Domaines d'application. - Bilan de puissance. - Caractéristiques mécaniques. - Vérins, moteurs : hydrauliques et pneumatiques 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Déterminer les caractéristiques mécaniques de l'actionneur ▪ Choisir un actionneur adapté à la solution constructive 	<p>On se limite à l'identification des caractéristiques fonctionnelles fondamentales en entrée et en sortie en vue d'obtenir les performances attendues.</p> <p>Pour les actionneurs hydrauliques, le fluide est considéré incompressible.</p>

<p>- Schémas hydrauliques et pneumatiques :</p> <p>34 Transmettre l'énergie :</p> <p>341-Liaisons mécaniques</p> <p>- Nature des liaisons obtenues.</p> <p>- Surfaces fonctionnelles.</p> <p>- Caractérisation : niveau de qualité, tenue aux efforts et vitesse relative admissible.</p> <p>Pour les solutions techniques (1) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • assemblages démontables et permanents ; • guidages en rotation par glissement et par éléments roulants ; • guidages en translation par glissement et par éléments roulants. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lire et interpréter un schéma hydraulique et pneumatique ▪ Proposer et justifier un modèle de liaison entre deux solides 	<p>Les normes de représentation des schémas sont fournies.</p> <p>Les différentes solutions techniques doivent être abordées en TD ou en TP dans le cadre de la réalisation de problématiques plus générales portant sur un système.</p> <p>Les points suivants ne sont pas au programme : le collage, le frettage, les calculs des organes filetés précontraints, les calculs par pincement, par déformation élastique ou par coincement, les calculs des clavettes, les guidages hydrostatiques et hydrodynamiques.</p> <p>Les points suivants ne sont pas évaluable : l'étanchéité et la lubrification des guidages.</p> <p>Les calculs de durée de vie des roulements, dans le cas d'une utilisation continue sans variation de la vitesse de rotation, font uniquement l'objet de calculs de vérification à partir de documents constructeur et des formules qui seront données.</p> <p>(1) Les solutions les plus courantes permettant la réalisation des liaisons mécaniques sont étudiées à l'aide de leurs surfaces et conditions fonctionnelles dans le but de mettre en évidence leurs principales caractéristiques : niveau de qualité, tenue aux efforts et vitesse relative admissible.</p>
--	---	---

<p>342- Composants mécaniques de transmission</p> <ul style="list-style-type: none">- Caractérisation cinématique de la transmission : mobilités, loi d'entrée-sortie et réversibilité.- Puissances d'entrée, de sortie et rendement en un point de fonctionnement. <p>Pour les solutions techniques (1) :</p> <ul style="list-style-type: none">• transmissions sans transformation de mouvement sans et avec modification de la fréquence de rotation• transmissions avec transformation de mouvement.		<p>Les différentes solutions techniques doivent être abordées en TD ou en TP dans le cadre de l'étude de problématiques plus générales portant sur un système.</p> <p>(1) Les solutions les plus courantes permettant la transmission de mouvement sont étudiées et comparées dans le but de mettre en évidence leurs caractéristiques cinématiques et leurs rendements.</p>
---	--	--

4 - Comportement des systèmes : cas des solides indéformables :

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires et limitations
<p>41 - Lois de mouvement</p> <ul style="list-style-type: none">- Mouvement d'un solide, trajectoire d'un point d'un solide.- Vecteur position, vecteur vitesse et vecteur accélération.- Torseur cinématique associé à une liaison.- Loi d'entrée-sortie en vitesse et en position d'un système.	<ul style="list-style-type: none">▪ Paramétrer les mouvements d'un solide Indéformable▪ Proposer une démarche permettant de déterminer une loi de mouvement▪ Déterminer la loi entrée-sortie d'une chaîne cinématique simple▪ Déterminer la trajectoire d'un point d'un solide par rapport à un autre▪ Déterminer le vecteur vitesse d'un point d'un solide par rapport à un autre▪ Déterminer le vecteur accélération d'un point d'un solide par rapport à un autre▪ Déterminer les relations de fermeture géométrique et cinématique d'une chaîne cinématique, et résoudre le système associé▪ Associer aux liaisons un torseur cinématique	<p>On ne donne que les éléments essentiels de la théorie des torseurs : opérations, invariants, axe central, couple et glisseur.</p> <p>Le paramétrage avec les angles d'Euler ou les angles de roulis, de tangage et de lacet est présenté, mais la maîtrise de ces angles n'est pas exigée.</p> <p>La méthode de résolution graphique est imposée, l'élève doit être capable de déterminer les vecteurs vitesses demandées.</p>

<p>42- Actions mécaniques</p> <ul style="list-style-type: none"> - Modélisation des actions mécaniques. - Nature : action mécanique de contact et action mécanique à distance (gravité et magnétique). - Modèle local du contact : notion de densité surfacique de charge et modèles de répartition sur une surface de contact (sans frottement et avec frottement - lois de Coulomb) (1). - Modèle global des actions transmissibles par une liaison parfaite ou non parfaite : torseur associé. <p>43- Approche statique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conditions d'utilisation et application du Principe Fondamental de la Statique. - Théorème des actions réciproques. - Méthodologie : isolement, bilan des actions mécaniques extérieures, application du Principe fondamental de la statique (PFS) et résolution (1). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Réaliser l'inventaire des actions mécaniques extérieures s'exerçant sur un solide ou un ensemble de solides ▪ Associer un modèle à une action mécanique ▪ Ecrire la relation entre modèle local et modèle global dans le cas d'actions réparties. ▪ Associer aux liaisons un torseur d'action mécanique transmissible ▪ Proposer ou compléter une méthode permettant la détermination des inconnues de liaison ▪ Proposer ou compléter une méthode permettant la détermination des paramètres conduisant à des positions d'équilibre ▪ Vérifier l'homogénéité des résultats 	<p>(1) Les points suivants ne sont pas au programme : la théorie de Hertz ainsi que la résistance au pivotement et au roulement.</p> <p>Une méthode de résolution graphique peut être utilisée dans le cas d'un solide soumis à deux ou trois actions mécaniques modélisables par des glisseurs coplanaires non parallèles.</p> <p>(1) Une méthode de résolution graphique peut être utilisée dans le cas d'un solide soumis à deux ou trois actions mécaniques modélisables par des glisseurs coplanaires non parallèles.</p>
--	---	--

<p>44- Liaisons équivalentes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Liaison équivalente à une association de deux liaisons en série ou en parallèle. - Degré de mobilité et degré d'hyperstatisme (2). - Conditions géométriques associées à l'hyperstatisme. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Déterminer le degré de mobilité et d'hyperstatisme ▪ Déterminer la liaison cinématiquement équivalente à un ensemble de deux liaisons en série ou parallèle. 	<p>(2) Le degré de mobilité et le degré d'hyperstatisme sont nécessaires à l'interprétation des résultats de simulations numériques.</p> <p>On met également en évidence qu'un degré d'hyperstatisme non nul induit soit une ruine prématurée du système par un phénomène de fatigue, voire une impossibilité d'assembler les pièces, si aucune précaution n'est prise, soit la nécessité de mettre en place une cotation rigoureuse et plus contraignante que pour un système isostatique, ou un dispositif de réglage (montage des roulements à contacts obliques par exemple).</p> <p>La conclusion dans ce cas étant un surcoût dans la réalisation du produit qu'il faut justifier par l'intérêt ou la nécessité d'avoir recours à une solution hyperstatique.</p>
---	---	---

5 - Adéquation produits-matériaux-procédés :

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires et limitations
<ul style="list-style-type: none">- Procédés d'obtention des produits (1).- Paramètres influents du procédé : matériaux, géométrie, précision	<ul style="list-style-type: none">▪ Mettre en place des simulations d'obtention de pièces brutes par fonderie, injection plastique, forgeage, emboutissage, et de pièces finies par enlèvement de matière	<p>(1) Les principes et caractéristiques des procédés d'obtention sont abordés en simulation avec des outils informatiques adaptés. Les procédés au programme sont la fonderie, l'injection plastique, le forgeage, l'emboutissage et l'enlèvement de matière.</p> <p>On insiste sur le lien entre les dimensions géométriques des pièces et le choix du procédé.</p> <p>La mise en oeuvre de ces simulations est faite avec des outils logiciels adaptés.</p> <p>On ne fait pas un cours spécifique sur les procédés d'obtention mais ces notions sont introduites lors d'études de cas.</p>

6- Protocoles expérimentaux:

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires et limitations
<ul style="list-style-type: none">- Environnement du système.- Mise en oeuvre d'un système, paramètres de fonctionnement d'un système.- Choix des appareils de mesures (position, calibre, période d'échantillonnage, précision).- Respect des normes de sécurité, protection des biens et des personnes.- Respect d'un protocole expérimental.	<ul style="list-style-type: none">▪ Mettre en oeuvre un système dans le respect des règles de sécurité▪ Choisir les configurations matérielles du système en fonction de l'objectif visé.▪ Justifier le choix de la grandeur physique à mesurer.▪ Mettre en oeuvre un appareil de mesure adapté à la caractéristique de la grandeur à mesurer▪ Choisir les appareillages et les conditions d'exploitation en adéquation avec la législation▪ Proposer et justifier le lieu de prise de mesures vis-à-vis de l'objectif à atteindre▪ Régler les paramètres de fonctionnement d'un système▪ Mettre en oeuvre un système complexe en respectant les règles de sécurité.▪ Respecter les protocoles expérimentaux▪ Exploiter et interpréter des résultats de mesure ou de simulation▪ Utiliser des symboles et des unités adéquates▪ Vérifier l'homogénéité des résultats	