

Royaume du Maroc



Ministère de l'Éducation Nationale,  
du Préscolaire et des Sports

**Ministère de l'Éducation Nationale, du Préscolaire et des Sports**  
**Classes Préparatoires aux Grandes Écoles**

**Programme des sciences industrielles pour l'ingénieur**  
**Filière : Technologie et Sciences de l'ingénieur (TSI)**  
**Génie mécanique**  
**Première année**

## **Table des matières :**

1. Préambule .....	3
2. Présentation.....	3
2.1. Objectifs de la formation.....	3
2.2. Démarche pédagogique et didactique de l'enseignant.....	4
2.3. Compétences générales de l'ingénieur développées.....	5
2.4. Activités d'enseignement. ....	6
2.5. Organisation du programme et volume horaire indicatif. ....	6
2.6. Progression. ....	7
3. Contenu détaillé du programme.....	8
Premier trimestre.....	8
Deuxième trimestre.....	12
Troisième trimestre.....	15
4. Annexe 1 : Composantes de la compétence « expérimenter » .....	17
5. Annexe 2 : Composantes de la compétence « Réaliser » .....	17

## **1 – PREAMBULE.**

Les ingénieurs de demain doivent répondre efficacement et de manière innovante aux besoins de progrès et d'amélioration de la qualité de vie des personnes et par ricochet participer dans le développement de la société dans un cadre plus large. Cette réponse se manifeste par leurs implications dans les divers secteurs de l'économie de production et de service. Ils participent aux processus de développement des systèmes à chaque étape de leurs cycles de vie, de la caractérisation du besoin jusqu'au recyclage, en respectant les contraintes écologiques visant un développement durable et en adoptant les règles et concept de l'éco-conception

Ces nouvelles manières d'aborder les enjeux contemporains de notre société génèrent des problématiques complexes nécessitant la conception de systèmes innovants le plus souvent pluri technologiques répondants exactement au besoin des clients. Le développement, la réalisation et la mise en œuvre de ces systèmes nécessitent l'adoption d'une démarche d'analyse qui intègre une multitude de contraintes d'ordre règlementaire, écologique, technologique et économique.

La conciliation de ses contraintes avec les règles du marché en termes de délai et de compétitivité impose l'introduction des concepts de l'ingénierie numérique ainsi que les outils de résolution et de modélisation numériques dans le programme d'enseignement des S.I.I.

## **2 – PRESENTATION.**

### **2.1. Objectifs de la formation :**

L'enseignement des sciences industrielles de l'ingénieur (SII) nécessite la mobilisation des compétences scientifiques fondamentales transversales du programme du CPGE ainsi que les outils d'analyse et de résolution numérique qui en découle pour constituer une panoplie d'outils d'accompagnement de l'apprenant dans la recherche et la conception de solutions industrielles appropriées aux problématiques complexes liées au développement continu de processus industriel. Au terme des deux années de formation, l'appréhension des sciences industrielles vise le développement chez les élèves d'une vision globale de l'approche projet qui nécessite le développement des aptitudes de communiquer, de travailler en équipe, d'auto critique et d'ouverture.

Les compétences acquises doivent constituer une plate-forme solide sur laquelle prendra appui la formation dans les grandes écoles. Dans ces écoles il sera question d'approfondir les savoirs appréhendés en CPGE, l'introduction et la découverte de nouvelles connaissances et compétences propres aux divers profils de formation au métier d'ingénieur.

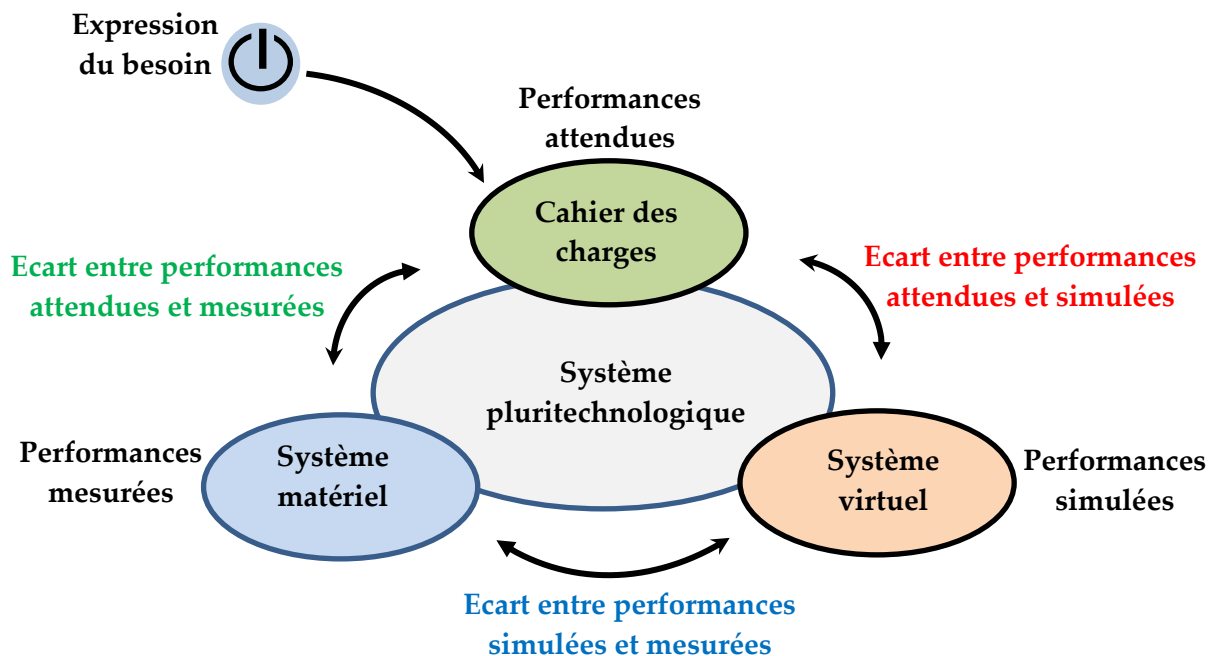
Ce programme contribue aussi à l'approche pédagogique par les STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) qui permet de favoriser le décloisonnement entre les disciplines enseignées en CPGE marocaines.

## 2.2. Démarche pédagogique et didactique de l'enseignant.

L'approche des enseignements en **S.I.I.** s'organise autour de systèmes pluri technologiques. Chaque système est défini à partir de besoins fonctionnels et d'exigences, de modèles numériques et d'un système matériel. Un système sera étudié dans sa globalité à partir de ces trois approches imbriquées :

- La réalité du besoin ou exigences fonctionnelles. Elle se décline dans le cahier des charges défini avec un client.
- La réalité virtuelle d'un système. Elle se traduit dans l'élaboration d'un modèle permettant de simuler son comportement afin d'en prévoir et d'en évaluer les performances.
- La réalité matérielle d'un système. Les performances du système matériel sont mesurées par expérimentation.

L'illustration suivante montre les trois représentations des systèmes et les écarts constatés entre les performances attendues, simulées et mesurées (Démarche d'ingénieur).



La démarche pédagogique en sciences industrielles de l'ingénieur vise à :

- S'approprier les trois réalités du système pluri technologique (le cahier des charges, le système virtuel et le système matériel).
- Comparer les performances issues de ces trois réalités.
- Optimiser le système virtuel et le système matériel afin de faire converger leurs performances vers celles attendues au cahier des charges.

Les contenus du programme des sciences industrielles de l'ingénieur permettent aux étudiants d'investir complètement la démarche de l'ingénieur en s'intéressant à toutes les représentations des systèmes. Pour cela, les enseignements en SII installent progressivement l'ensemble des connaissances et des compétences nécessaires à la maîtrise des différentes représentations d'un même objet ou système, à la comparaison des différentes performances, à l'optimisation des systèmes dans leurs réalités numérique et matérielle, afin de répondre aux attentes du client.

### **2.3. Compétences générales de l'ingénieur développées.**

Les compétences développées en sciences industrielles pour l'ingénieur forment un tout cohérent, en relation directe avec la réalité industrielle qui entoure l'élève. Couplées à la démarche de l'ingénieur, elles le sensibilisent aux travaux de recherche, de développement et d'innovation.

Des solutions innovantes sont modélisées de façon numérique. Ces modèles numériques permettent la simulation du comportement des systèmes pluri technologiques afin d'obtenir des performances simulées. Une démarche expérimentale menée sur des systèmes existants vient enrichir les compétences des étudiants au service de la démarche de l'ingénieur. Elle permet la comparaison des performances simulées et mesurées avec celles attendues au cahier des charges afin d'optimiser tout ou partie du modèle numérique.

Ces compétences sont :

- **Analyser** : permet des études fonctionnelles, structurelles et comportementales des systèmes conduisant à la compréhension de leur fonctionnement et à une justification de leur architecture. Via les activités expérimentales, elles permettent d'acquérir une culture des solutions industrielles qui facilitent l'appropriation de tout système nouveau. Cette approche permet de fédérer et assimiler les connaissances présentées dans l'ensemble des disciplines scientifiques de classes préparatoires aux grandes écoles.
- **Modéliser** : permet d'appréhender le réel et d'en proposer, après la formulation d'hypothèses, une représentation graphique, symbolique ou équationnelle pour comprendre son fonctionnement, sa structure et son comportement. Le modèle retenu permet des simulations afin d'analyser, de vérifier, de prévoir et d'améliorer les performances d'un système.
- **Résoudre** : permet de donner la démarche pour atteindre de manière optimale un résultat. La résolution peut être analytique ou numérique. L'outil de simulation numérique permet de prévoir les performances de systèmes complexes en s'affranchissant de la maîtrise d'outils mathématiques spécifiques.
- **Expérimenter** : permet d'appréhender le comportement des systèmes, de mesurer, d'évaluer et de modifier les performances. Les activités expérimentales sont au cœur de la formation et s'organisent autour de produits industriels instrumentés ou de systèmes didactisés utilisant des solutions innovantes. Elles permettent de se confronter à la complexité de la réalité industrielle, d'acquérir une culture des solutions technologiques, de formuler des hypothèses pour modéliser le réel, d'en apprécier leurs limites de validité, de développer le sens de l'observation, le goût du concret et la prise d'initiative.
- **Concevoir** : permet de modifier l'architecture des systèmes pour satisfaire un cahier des charges. Elle permet également de faire évoluer le comportement des systèmes. Elle développe l'esprit d'initiative et la créativité des élèves.
- **Communiquer** : permet de décrire, avec les outils de la communication technique et l'expression scientifique et technologique adéquate, le fonctionnement, la structure et le comportement des systèmes.
- **Réaliser** : Réaliser tout ou partie d'un prototype.

**2.4. Activités d'enseignement.**

- **Cours – TD** : 2 heures hebdomadaires programmées, de préférence, le matin.
- **Travaux pratiques** : 1h30 mn hebdomadaires par demi-classe découpée en groupes.
- **T.I.P.E.** : 2 heures hebdomadaires.
- **Colles** : 0.5 heure par élève par semaine.

**2.5. Organisation du programme et volume horaire indicatif (Cours, TD et TP) :**

Thème	Contenu	Volume horaire indicatif (heure)	
Analyse fonctionnelle et structurelle - Diagrammes d'ingénierie systèmes.	- Analyse fonctionnelle. - Analyse structurelle. - Chaînes d'information et de puissance. - Définir les écarts.	10,5	Premier trimestre
Représentation des produits.	- Modélisation cinématique des systèmes.	10,5	
	- Représentation géométrique du réel.	7	
Composants de la chaîne de puissance.	- Alimenter en énergie et stocker l'énergie. - Distribuer l'énergie. - Convertir l'énergie.	7	Deuxième trimestre
Comportement des systèmes (Cas des solides indéformables)	- Cinématique des solides et des systèmes.	17,5	
	- Statique des solides et des systèmes	10,5	
	- Liaisons équivalentes - Mobilités et hyperstatisme d'un modelé.	7	
Adéquation produits-matériaux-procédés.	- Procédés d'obtentions des pièces mécaniques. - Familles des matériaux	7	Troisième trimestre
Transmettre l'énergie mécanique.	- Liaisons mécaniques. - Transmission d'énergie mécanique. - Spécification dimensionnelles.	10,5	

## **2.6. Progression.**

Un découpage trimestriel a été adopté pour développer le contenu du programme des sciences industrielles pour l'ingénieur. Dans le cadre de la liberté pédagogique, l'enseignant peut traiter le contenu relatif à un trimestre selon ses préférences et ses dispositions pédagogiques.

Certaines notions et compétences du programme des sciences industrielles pour l'ingénieur sont en commun avec la physique ou l'informatique.

- La mention (*I*) indique que la notion est en commun avec l'informatique. Les outils de base sont traités en informatique, l'enseignant proposera à ses élèves d'utiliser ces outils dans l'élaboration de solutions à des applications spécifiques à la SII ;
- La mention (*P*) indique que la notion est en commun avec la physique. L'enseignant doit se concerter en permanence avec le professeur de physique pour éviter toute répétition.

-

**3- CONTENU DETAILLE DU PROGRAMME.****Premier trimestre.**

Détails du programme	Compétences et commentaires
<b>Analyse fonctionnelle et structurelle et diagrammes d'ingénierie system (SysML):</b>  <b>1.1. Analyse fonctionnelle.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Besoin à satisfaire.</li> <li>- Expression fonctionnelle du besoin.</li> <li>- Frontière d'étude.</li> <li>- Cahier des charges fonctionnel.</li> <li>- Présenter la fonction globale</li> <li>- Identifier les domaines d'application, les critères technico-économiques.</li> <li>- Identifier les contraintes</li> <li>- Qualifier et quantifier les exigences (critères, niveaux).</li> <li>- Identifier et caractériser les fonctions de Service.</li> <li>- Architecture fonctionnelle.</li> <li>- Diagramme des exigences. (req).</li> <li>- Diagramme des cas d'utilisation (uc).</li> <li>- Contraintes environnementales et sociétales.</li> <li>- Bilan carbone.</li> <li>- Analyse du Cycle de Vie (ACV).</li> </ul> <b>1.2. Analyse structurelle.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diagramme de définition de blocs, diagramme de blocs internes (bdd, ibd), diagramme paramétrique (par).</li> <li>- Chaînes fonctionnelles : chaîne d'information et chaîne de puissance.</li> <li>- Architecture structurelle.</li> </ul> Partie commande et partie opérative. <ul style="list-style-type: none"> <li>- Relations entre P.C. ET P.O.</li> <li>- Architecture structurelle.</li> <li>- Identifier les fonctions techniques.</li> <li>- Déterminer les constituants dédiés aux fonctions d'un système.</li> </ul> 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>Les diagrammes d'Ingénierie Système - SysML (uc, req) peuvent être proposés à lire, à compléter ou à créer en s'appuyant sur un document fourni présentant la syntaxe.</p> <p>Il s'agit de prendre en compte les exigences liées au développement durable et de sensibiliser aux aspects sociétaux.</p> <p>L'évaluation de l'impact environnemental et sociétal s'appuie sur les 3 piliers du développement durable (social, économique et environnemental).</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 diagrammes d'Ingénierie Système - SysML (bdd, ibd) peuvent être proposés à lire, à Compléter ou à créer en s'appuyant sur un document fourni présentant la syntaxe.</p> <p>Les diagrammes d'Ingénierie Système - SysML (stm) peuvent être proposés à lire, à compléter ou à créer sur des cas simples, en s'appuyant sur un document fourni présentant la syntaxe. Les diagrammes de séquence ne peuvent être proposés qu'en lecture.</p> <p>L'évolution temporelle des états et des variables d'un diagramme d'états est représentée sous la forme d'un chronogramme.</p>



<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier la nature des flux échangés (Matière, Énergie, Information) traversant la frontière d'étude.</li> <li>- Préciser leurs caractéristiques (variable potentielle, variable de flux).</li> <li>- Identifier la nature et les caractéristiques des flux échangés.</li> <li>- Vérifier l'homogénéité et la compatibilité des flux entre les différents constituants (Courant, force ou couple, flux thermique).</li> <li>- Architecture fonctionnelle des produits et systèmes.</li> </ul> <p><b>1.3. Chaînes d'information et de puissance.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Relations entre chaîne de puissance et chaîne d'information : grandeurs physiques à acquérir et ordres de commande.</li> <li>- Fonctions élémentaires d'une chaîne de puissance : alimenter, distribuer ou moduler, convertir, transmettre et agir sur la matière d'œuvre.</li> <li>- Présentation de la chaîne de puissance : fonctions alimenter, moduler, convertir, transmettre et agir.</li> <li>- Alimentation d'énergie : source.</li> <li>- Modulateurs ; actionneurs.</li> <li>- Transmetteurs de puissance : vis écrou, roue et vis sans fin, trains d'engrenages simples, trains épicycloïdaux, pignon-crémaillère, poulies-courroie et bielle manivelle (caractéristiques ; réversibilité, domaines d'application).</li> </ul> <p><b>1.4. Définir les écarts</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Définir les écarts S-L, L-C et S-C.</li> <li>- identification des écarts.</li> </ul> <p><b>2. Représentation des produits.</b></p> <p><b>2.1. Modélisation cinématique des systèmes.</b></p>	<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> <p>Fonctions acquérir, traiter, communiquer, restituer, alimenter, stocker, adapter, moduler, convertir, transmettre et agir.</p> <p>La description des chaînes fonctionnelles de différents systèmes permet de construire une culture technologique.</p> <p>Se limiter aux définitions des écarts en se référant au schéma de la page d'introduction.</p>
--	--

<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Modélisation cinématique des liaisons</b></li> <li>- <b>Contacts entre solides.</b></li> <li>- <b>Classes d'équivalence.</b></li> <li>- Proposer un modèle cinématique à partir d'un système réel ou d'une maquette numérique.</li> <li>- Schéma cinématique (1), schéma d'architecture (2).</li> <li>- Graphe de structure, graphe des liaisons.</li> <li>- Réaliser le graphe de structure de tout ou partie d'un mécanisme.</li> <li>- Proposer un schéma cinématique (plan ou 3D) minimal et d'architecture de tout ou partie d'un mécanisme.</li> <li>- Lire et interpréter un schéma.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Association repère-solide</li> <li>- Géométrie des contacts entre deux solides.</li> <li>- Liaisons parfaites.</li> <li>- Degrés de liberté.</li> <li>- Classe d'équivalence cinématique.</li> <li>- Liaisons normalisées entre solides, caractéristiques géométriques et repères d'expression privilégiés.</li> <li>- Paramètres géométriques linéaires et angulaires.</li> <li>- Symboles normalisés.</li> </ul> <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><b>2.2. Représentation géométrique du réel</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dessin et croquis à main levée d'une solution.</li> <li>- Représentation d'une solution constructive en 3D par un modelleur volumique.</li> <li>- Assemblage sous contrainte.</li> <li>- Utilisation de bibliothèques d'éléments standards.</li> </ul>	<p>Seules les notions de bases sur les modelleurs volumiques sont abordées (création d'une pièce simple, assemblage et visualisation d'une maquette numérique).</p> <p>Aucune connaissance affiliée aux normes des dessins techniques n'est évaluable.</p> <p>Elaborer la maquette numérique de la partie étudiée du produit en intégrant les contraintes fonctionnelles d'assemblage.</p>
<p><b>3. Composants de la chaîne de puissance.</b></p> <p><b>3.1. Alimenter en énergie et stocker l'énergie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sources d'énergies.</li> <li>- Variables potentielles, variables de flux.</li> <li>- Grandeurs physiques disponibles.</li> <li>- Constituants de distribution.</li> <li>- Accumulateurs.</li> <li>- Pompes.</li> </ul> <p><b>3.2. Distribuer l'énergie</b></p>	<p>On se limite à l'identification des caractéristiques fonctionnelles fondamentales en entrée et en sortie en vue d'obtenir les performances attendues.</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nature et caractéristiques des grandeurs physiques d'entrée et de sortie.</li> <li>- Distributeurs hydrauliques et pneumatiques.</li> <li>- Association de préactionneurs et d'actionneurs.</li> <li>- Schémas des composants hydrauliques et pneumatiques.</li> </ul> <p><b>3.3. Convertir l'énergie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Caractéristiques d'entrée et de sortie.</li> <li>- Modes de fonctionnement, Domaines d'application.</li> <li>- Bilan de puissance.</li> <li>- Caractéristiques mécaniques.</li> <li>- Vérins, moteurs : hydrauliques et pneumatiques.</li> </ul>	<p>Pour les actionneurs hydrauliques, le fluide est considéré incompressible.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déterminer les caractéristiques mécaniques de l'actionneur.</li> <li>- Choisir un actionneur adapté à la solution constructive.</li> <li>- Lire et interpréter un schéma hydraulique et pneumatique.</li> </ul> <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>Produire des documents techniques adaptés à l'objectif de la communication (I)</p>	<p>Elaboration de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diagrammes SysML.</li> <li>- Chaînes fonctionnelles.</li> <li>- Schéma-blocs.</li> <li>- Schémas cinématique, électrique, pneumatique, thermique, hydraulique.</li> <li>- Graphe de structure.</li> <li>- Croquis, représentations 3D et 2D.</li> </ul>

**Deuxième trimestre.**

Détails du programme	Compétences et commentaires
<b>4. Comportement des systèmes (Cas des solides indéformables)</b>  <b>4.1. Cinématique des solides et des systèmes :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rappels et compléments de calcul vectoriel (<i>P</i>) et torsoriel.</li> <li>- Définition d'un solide indéformable :</li> <li>- Référentiel : espace, temps (<i>P</i>).</li> <li>- Repère attaché à un référentiel (<i>P</i>);</li> <li>- Équivalence repère- solide indéformable.</li> <li>- Paramétrage de la position d'un solide par rapport à un autre solide (paramètres linéaires et angulaires)</li> <li>- Dérivée temporelle d'un vecteur par rapport à un référentiel. Relation entre les dérivées temporelles d'un vecteur par rapport à deux référentiels</li> <li>- Mouvement d'un solide, translation, rotation, mouvement composé, trajectoire d'un point d'un solide. (<i>P</i>)</li> <li>- Vecteur taux de rotation, Vecteur position, vecteur vitesse et vecteur accélération, torseur cinématique et champs des vectrices vitesses. (<i>P</i>)</li> <li>- Torseur cinématique.</li> <li>- Composition des mouvements. (<i>P</i>)</li> <li>- Définition du contact ponctuel entre deux solides (roulement et glissement).</li> <li>- Torseur cinématique associé à une liaison.</li> <li>- Loi d'entrée-sortie en vitesse et en position d'un système. Transmetteurs de puissance (vis- écrou, roue et vis sans fin, trains d'engrenages simples et épicycloïdaux, pignon-crémaillère et poulies-courroie).</li> </ul>	<p>Mettre l'accent sur les opérations vectorielles rencontrées en cinématique (<i>P</i>).</p> <p>On ne donne que les éléments essentiels de la théorie des torseurs : opérations, invariants, axe central, couple et glisseur.</p> <p>Les compétences acquises doivent permettre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Paramétrer les mouvements d'un solide indéformable ;</li> <li>Associer un repère à un solide ;</li> <li>Identifier les degrés de liberté d'un solide par rapport à un autre solide ;</li> <li>Justifier le paramétrage du modèle retenu.</li> </ul> <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>A partir d'un système mécanique pour lequel un <u>paramétrage est donné</u>, les compétences citées devront permettre de modéliser la cinématique d'un ensemble de solides et de déterminer le torseur cinématique d'un solide par rapport à un autre solide, de déterminer le vecteur accélération d'un point d'un solide par rapport à un autre solide et d'exploiter le roulement sans glissement.</p> <p>La composition des vecteurs accélérations est hors programme.</p> <p>Etant donné une chaîne cinématique, les compétences acquises doivent permettre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Déterminer les relations de fermeture géométrique ;</li> <li>Déterminer la loi entrée - sortie géométrique ;</li> <li>Déterminer les relations de fermeture cinématique ;</li> <li>Déterminer la loi entrée – sortie cinématique.</li> </ul> <p>La méthode de résolution graphique étant imposée, l'élève doit être capable de déterminer les vecteurs vitesses demandées. Toutefois, la maîtrise de ces méthodes ne devra donner lieu à aucune évaluation.</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proposer un modèle cinématique à partir d'un système réel ou d'une maquette numérique. (I)</li> <li>- Proposer une démarche permettant d'obtenir une loi entrée-sortie géométrique ou cinématique (I)</li> </ul>	<p>Fermeture géométrique. Fermeture cinématique.</p>
<p><b>4.2. Modélisation des actions mécaniques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modélisation des actions mécaniques. Torseur d'action mécanique Torseur couple et torseur glisseur.</li> <li>- Nature : action mécanique de contact et action mécanique à distance (gravité et magnétique).</li> <li>- 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).</li> <li>- Notion de densité linéique, surfacique et volumique d'efforts, notion de frottement visqueux.</li> <li>- Associer un modèle à une action mécanique.</li> <li>- Modèle global des actions transmissibles par une liaison parfaite ou non parfaite : torseur associé.</li> <li>- Associer aux liaisons un torseur d'action mécanique transmissible ;</li> <li>- Proposer ou compléter une méthode permettant de proposer les inconnues de liaison.</li> <li>- Ecrire la relation entre modèle local et modèle global dans le cas d'actions réparties.</li> </ul>	<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>Le tableau des liaisons est proposé avec les schémas normalisés des liaisons et leurs torseurs d'actions mécaniques transmissibles.</p> <p>Vérifier l'homogénéité des résultats</p>

<p><b>4.3. Statique des solides et des systèmes :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Réaliser l'inventaire des actions mécaniques extérieures s'exerçant sur un solide ou un ensemble de solides ; graphe d'actions mécaniques.</li> <li>- Conditions d'utilisation et application du Principe Fondamental de la Statique.</li> <li>- Cas des problèmes plans.</li> <li>- Théorème des actions réciproques.</li> <li>- Méthodologie (1) : isolement, bilan des actions mécaniques extérieures, application du Principe fondamental de la statique (I) - (PFS) et résolution.</li> </ul> <p><b>4.4. Liaisons équivalentes :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Liaison équivalente à une association de deux liaisons en série ou en parallèle. (Approches cinématique et statique).</li> <li>- Déterminer la liaison cinématiquement équivalente à un ensemble de deux liaisons en série ou en parallèle.</li> <li>- Degré de mobilité et degré d'hyperstatisme (2).</li> <li>- Déterminer le degré de mobilité et d'hyperstatisme.</li> <li>- Conditions géométriques associées à l'hyperstatisme.</li> </ul> <p><b>4.5. Mobilités et hyperstatisme d'un modèle de mécanisme :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mobilité du modèle d'un mécanisme.</li> <li>- Degré d'hyperstatisme d'un modèle.</li> <li>- Conditions et limites de la modélisation plane.</li> <li>- Déterminer le degré de mobilité et d'hyperstatisme.</li> <li>- Modifier un modèle de mécanisme afin de le rendre isostatique.</li> </ul>	<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>La détermination des actions mécaniques Inconnues peut être menée par l'usage d'un outil de simulation numérique. (I)</p> <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> <p>L'identification des contraintes géométriques et dimensionnelles liées au degré d'hyperstatisme n'est pas exigible.</p>
--	--

**Troisième trimestre.**

Détails du programme	Compétences et commentaires
<p><b>5. Adéquation produits-matériaux-procédés.</b></p> <p><b>5.1. Procédés d'obtention des pièces mécaniques.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Procédés d'obtention des produits (1).</li> <li>- Fonderie.</li> <li>- L'injection plastique.</li> <li>- Le forgeage.</li> <li>- L'emboutissage.</li> <li>- Obtention des pièces finies par enlèvement de matière (Tournage, fraisage, rectification...).</li> <li>- Caractéristiques des procédés.</li> </ul> <p><b>5.2. Familles des matériaux.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Paramètres influents du procédé : matériaux, géométrie, précision.</li> <li>- Classes des matériaux.</li> <li>- Domaines généraux d'application.</li> </ul>	<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>L'objectif consiste en une découverte des procédés classiques de fabrication liés aux classes des matériaux.</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> <p>On insiste sur le lien entre les dimensions géométriques des pièces et le choix du procédé.</p> <p>La connaissance des désignations normalisées des matériaux n'est pas au programme.</p>



<p><b>6. Transmettre l'énergie.</b></p> <p><b>6.1. Liaisons mécaniques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nature des liaisons obtenues.</li> <li>- Surfaces fonctionnelles.</li> <li>- Caractérisation : niveau de qualité, tenue aux efforts et vitesse relative admissible.</li> </ul> <p>- Solutions techniques pour les liaisons (1) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Assemblages démontables et permanents.</li> <li>- Guidages en rotation par glissement et par éléments roulants.</li> <li>- Guidages en translation par glissement et par éléments roulants.</li> </ul> <p><b>6.2. Transmission d'énergie mécanique.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Caractérisation cinématique de la transmission : mobilités, loi d'entrée-sortie et réversibilité.</li> <li>- Puissances d'entrée, de sortie et rendement en un point de fonctionnement.</li> </ul> <p>Solutions techniques pour les transmetteurs (1) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Transmissions sans transformation de mouvement sans et avec modification de la fréquence de rotation.</li> <li>- Transmissions avec transformation de mouvement.</li> </ul> <p><b>6.3. Spécification dimensionnelles (Ajustement) :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nature des ajustements (glissant, incertain et serré).</li> <li>- Justifier le besoin fonctionnel d'une spécification dimensionnelle.</li> </ul>	<p>Les points suivants ne sont pas au programme: le collage, le fretage, 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 constructeurs et des formules 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>(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> <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>Les ajustements normalisés ne sont pas exigibles. Seule la nature des ajustements est à préciser (glissant, incertain et serré).</p>
---	---



**4. ANNEXE 1 : Composantes de la compétence "Expérimenter":**

Compétences	Détails et commentaires
Mettre en œuvre un système en suivant un protocole	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Repérer les différents constituants de la chaîne de puissance.</li> <li>- Régler les paramètres de fonctionnement d'un système.</li> <li>- Mettre en évidence l'influence des paramètres sur les performances du système.</li> <li>- Identifier les grandeurs physiques d'effort et de flux.</li> <li>- Proposer un modèle cinématique à partir d'un système réel ou d'une maquette numérique.</li> </ul>
Proposer et justifier un protocole expérimental	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prévoir l'allure de la réponse attendue.</li> <li>- Prévoir l'ordre de grandeur de la mesure.</li> <li>- Choisir les configurations matérielles du système en fonction de l'objectif visé.</li> <li>- Choisir la grandeur physique à mesurer ou justifier son choix.</li> <li>- Identifier les erreurs de mesure et les erreurs de méthode.</li> </ul>
Mettre en œuvre un protocole expérimental	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en œuvre un système complexe en respectant les règles de sécurité.</li> <li>- Appréhender l'influence de la fréquence d'échantillonnage sur les mesures effectuées.</li> <li>- Régler les paramètres de fonctionnement d'un système.</li> <li>- Mesurer les grandeurs d'effort et de flux à travers les constituants de la chaîne d'énergie (Source, modulateur, actionneur et chaîne de transmission).</li> <li>- Extraire les grandeurs désirées et les traiter afin de construire un modèle de comportement du système.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en œuvre une démarche de simulation et de résolution numérique</li> <li>- Effectuer des traitements à partir de données de mesures expérimentales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Choisir les valeurs des paramètres de la résolution numérique : durée et pas de calcul.</li> <li>- Choisir les tracés des grandeurs physiques en fonction des performances à vérifier.</li> <li>- Choisir les paramètres de simulation.</li> <li>- Faire varier un paramètre et comparer les courbes obtenues.</li> <li>- Traitement de fichiers de données, moyenne - écart type (<i>I</i>).</li> </ul>

**5. ANNEXE 2 : Composantes de la compétence "Réaliser":**

Compétences	Détails et commentaires
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réaliser tout ou partie d'un prototype</li> <li>- Instrumenter tout ou partie d'un système pour valider une exigence ou renseigner un modèle de comportement.</li> <li>- Intégrer les constituants correspondant à une fonction dans un prototype.</li> <li>- Implémenter et exécuter un programme sur une cible.</li> <li>- Valider le fonctionnement du prototype.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La réalisation d'une chaîne d'asservissement numérique pourra servir de support.</li> <li>- L'acquisition de savoir-faire professionnels est exclue.</li> <li>- Tous les moyens de réalisation ou de prototypage rapide mutualisés dans l'établissement scolaire peuvent être utilisés, en particulier les ressources disponibles dans un espace d'innovation partagé (fablab).</li> </ul>