

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)**

**GENIE MECANIQUE**

**Deuxième année (2<sup>ème</sup> TSI)**

## 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. ....	6
3. Contenu détaillé du programme.....	7
Premier trimestre.....	7
Deuxième trimestre.....	8
4. Annexe : Composantes des compétences "Expérimenter" et "Réaliser" .....	11

## **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 réglementaire, 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.

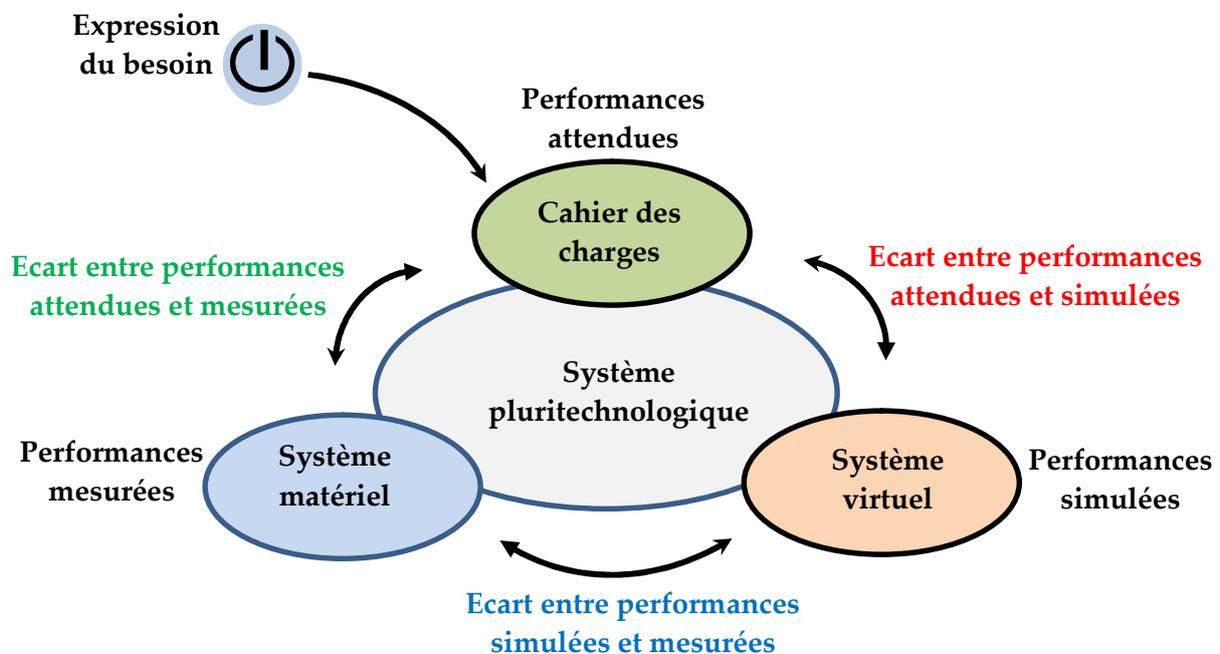
Ce programme contribue aussi à l'approche pédagogique par les STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) qui permet de favoriser le décloisonnement entre les disciplines enseignées en CPGE marocaines.

## 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)	
1. Comportement des systèmes (Cas des solides indéformables). Dynamique des solides et des systèmes.	Théorèmes généraux de la dynamique Théorème de l'énergie cinétique. Rendement.	31,5	Premier trimestre
2. Comportement des systèmes (Cas des solides déformables). Resistance des matériaux.	Resistance des matériaux.	17,5	Deuxième trimestre
3. Adéquation produits-matériaux-procédés.	Choix des matériaux	3,5	
4. Représentation des produits. Représentation géométrique du réel.	Cotation G.P.S.	5	
5. Ingénierie numérique et informatique	Intelligence artificielle (IA).	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. L'enseignant se contentera de proposer à ses élèves 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
<p><b>1. Comportement des systèmes (Cas des solides indéformables).</b>  <u>Dynamique des solides et des systèmes :</u></p> <p><u>1.1. Grandeurs inertielles</u>  - Grandeurs inertielles : centre d'inertie, masse, opérateur d'inertie / matrice d'inertie (1) et théorème de Huygens.</p> <p>- Inertie équivalente et masse équivalentes.</p> <p><u>1.2. Grandeurs cinétiques</u>  - Grandeurs cinétiques : torseur cinétique, torseur dynamique et énergie cinétique.</p> <p><u>1.3. Principe Fondamental de la Dynamique</u>  - Conditions d'utilisation et application du Principe Fondamental de la Dynamique par rapport à un référentiel galiléen.</p> <p>- Méthodologie :  Graphe de structure et d'analyse</p> <p>- Isolement, bilan des actions mécaniques extérieures, application du Principe fondamental de la dynamique (PFD) et résolution.</p>	<p>Déterminer les caractéristiques d'un solide (masse, volume, centre d'inertie, matrice d'inertie.)</p> <p>Ces caractéristiques sont déterminées aussi à l'aide d'un modèleur volumique.</p> <p>La relation entre la forme de la matrice d'inertie et la géométrie de la pièce est exigible.</p> <p>Les calculs intégraux des éléments d'inertie (matrice et centre d'inertie) ne donnent pas lieu à évaluation.</p> <p>Le théorème de Huygens est présenté sous forme vectorielle mais l'utilisation pratique se limite au transport d'un seul moment d'inertie.</p> <p>La détermination du moment dynamique peut être introduite sur quelques cas simples mais sa maîtrise ne sera ni exigible ni évaluée.</p> <p>La détermination des actions mécaniques inconnues peut être menée par l'usage d'un outil de simulation numérique.</p> <p>-L'équilibrage dynamique est à traiter comme application du PFD.</p> <p>Choix des isolements.</p> <p>Choix des équations pertinentes vis-à-vis de l'objectif.</p>

<p><u>1.4. Approche énergétique :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Puissances développées par les actions mécaniques extérieures à l'ensemble isolé dans son mouvement par rapport à un référentiel galiléen.</li> <li>- Puissance des inter-efforts dans un ensemble de solides.</li> <li>- Utilisation du théorème de l'énergie cinétique galiléenne.</li> <li>- Notion de pertes de puissance et rendement global en un point de fonctionnement.</li> <li>- Méthodologie : isolement, bilan des puissances, application du théorème de l'énergie cinétique galiléenne et résolution.</li> <li>- Rendement en régime permanent.</li> </ul> <p>1.5. Paramétrer un modèle d'étude dynamique dans un logiciel de simulation.</p>	<p>Déterminer les actions mécaniques dans le cas où le mouvement est imposé.</p> <p>Déterminer la loi de mouvement dans le cas où les efforts extérieurs sont connus.</p> <p>Rappeler la définition d'énergie potentielle de pesanteur et des ressorts.</p>
---	---

## Deuxième trimestre.

<p><b>2. Comportement des systèmes : cas des solides déformables.</b></p> <p><b><u>Resistance des matériaux :</u></b></p> <p><u>2.1. Hypothèses de la RDM.</u> Associer un modèle poutre à un solide.</p> <p>Hypothèses de géométrie. Fibre neutre et section droite.</p> <p><u>2.2. Torseur de cohésion.</u></p> <p><u>2.3. Sollicitations simples.</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sollicitations : traction– compression, torsion, flexion simple et cisaillement.</li> <li>- Contraintes, déformations.</li> <li>- Coefficient de sécurité, résistance mécanique.</li> <li>- Coefficient de concentration des contraintes.</li> </ul>	<p>Les hypothèses de continuité, d'élasticité, d'homogénéité et d'isotropie des matériaux ainsi que les hypothèses de Navier-Bernoulli et de Barré de Saint-Venant tout comme l'hypothèse des petites perturbations (petites déformations et petits déplacements) sont présentées, mais aucune connaissance spécifique n'est exigible.</p> <p>Déterminer le torseur de cohésion</p> <p>Associer un modèle de contraintes à l'état de sollicitation.</p> <p>Déterminer la répartition des contraintes dans une section droite</p> <p>Vérifier la résistance mécanique d'une poutre droite ;</p> <p>Les méthodes de résolution des problèmes</p>
--	--

<p>- Proposer une démarche permettant de déterminer les contraintes et/ou les déplacements le long d'une poutre.</p> <p>2.4. Paramétrer un modèle dans un logiciel de simulation par éléments finis. (I)</p>	<p>hyperstatiques en résistance des matériaux ne sont pas au programme et les sollicitations ne sont pas combinées.</p> <p>Déterminer le coefficient de sécurité par rapport aux exigences du cahier des charges fonctionnel</p> <p>Déterminer l'équation de la flèche dans une poutre droite soumise à de la flexion, avec chargements ponctuels ou répartition linéique constante de pression</p> <p><u>L'effet</u> du cisaillement est hors programme.</p> <p>Tronçons.</p> <p>Méthode des coupures.</p> <p>Proposer ou justifier des conditions aux limites dans un logiciel de simulation par éléments finis.</p>
<p><b><u>3. Adéquation produits-matériaux-procédés</u></b></p> <p>- Caractéristiques des matériaux dans les domaines de l'électricité, de la thermique, de l'acoustique et de la mécanique. (P)</p> <p>- Matériaux composites. Nano matériaux.</p> <p>- Familles des matériaux.</p> <p>- Analyser un compromis produit-procédés-matériaux</p> <p>- Démarche de choix du couple matériaux - procédé (Justifier le choix d'un indicateur de performance.)</p> <p>- Comparer qualitativement les caractéristiques physiques des matériaux. (P).</p> <p>- Justifier le choix d'un matériau et/ou d'un procédé.</p>	<p>Identifier les familles des matériaux et analyser le choix des matériaux vis-à-vis des performances attendues.</p> <p>Les propriétés mécaniques des matériaux sont caractérisées principalement grâce aux essais de traction</p> <p>Les familles de matériaux retenus sont les métalliques, céramiques, organiques et les composites.</p> <p>Une présentation des propriétés communes à chaque famille est à privilégier.</p> <p>Choisir un matériau ou une famille de matériau avec des objectifs multicritères.</p> <p>Choix d'un matériau en fonction du design du produit.</p> <p>La connaissance des désignations normalisées des matériaux n'est pas au programme.</p> <p>Propriétés physiques des matériaux.</p> <p>Classes des matériaux, domaines généraux d'application.</p> <p>Indices de performance.</p> <p>Diagrammes d'Ashby.</p> <p>Impact environnemental</p> <p>Caractéristiques des procédés.</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyser les résultats d'une simulation numérique de procédés. (I)</li> </ul>	<p>Des bases de données et des outils logiciels associés permettent de conduire une analyse qualitative et quantitative sur les procédés et les matériaux en utilisant une démarche d'écoconception.</p>
<p>4. Représentation géométrique du réel : <u>Cotation GPS</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tolérances géométriques et dimensionnelles.</li> <li>- Interprétation des spécifications selon les normes en vigueur. (Cotation GPS).</li> </ul> <p>- Structure fonctionnelle d'une machine à mesurer tridimensionnelle (MMT).</p>	<p>Interpréter une spécification indiquée sur un dessin de définition.</p> <p>Les spécifications sont définies par la norme ISO.</p> <p>Les études de méthode de mesurage seront limitées aux spécifications dimensionnelles, aux spécifications géométriques (planéité, circularité, perpendicularité, coaxialité, localisation, symétrie) avec un système de référence réduit à deux références (primaire et secondaire)</p>
<p>5. Intelligence artificielle. (I)</p> <p>Machine Learning :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Apprentissage supervisé et non supervisé Phases d'apprentissage et d'inférence.</li> <li>• Régression et classification, modèle linéaire monovarié ou multivarié.</li> <li>• Réseaux de neurones (couches d'entrée, cachées et de sortie, neurones, biais, poids et fonction d'activation).</li> <li>• Décomposition d'un problème complexe en sous problèmes simples.</li> <li>• Choix des algorithmes (réseaux de neurones, k plus proches voisins et régression linéaire multiple)</li> <li>• Apprentissage supervisé. Choix des données d'apprentissage. Mise en œuvre des algorithmes (réseaux de neurones, k plus proches voisins et régression linéaire multiple). Phases d'apprentissage et d'inférence. Matrice de confusion (tableau de contingence), sensibilité et spécificité d'un test.</li> </ul>	<p>Analyser les principes d'intelligence artificielle.</p> <p>Choisir une démarche de résolution d'un problème d'ingénierie numérique en utilisant une solution d'IA. (I).</p> <p>L'utilisation des bibliothèques (Python) pré-implémentées est privilégiée. (I).</p> <p>L'apprentissage non supervisé est introduit en regard de l'apprentissage supervisé mais aucune connaissance spécifique n'est exigible.</p> <p>Les réseaux de neurones sont abordés mais aucune connaissance spécifique n'est exigible. (I).</p> <p>L'élève doit être capable de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Interpréter et vérifier la cohérence des résultats obtenus expérimentalement, analytiquement ou numériquement.</li> </ul> <p>Les exemples à traiter sont liés aux systèmes d'ingénierie numérique étudiés en sciences industrielles.</p>

**4. ANNEXE : Composantes des compétences "Expérimenter" et "Réaliser"**

Compétences	Détails et commentaires
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prototypage rapide.</li> <li>- Prototype.</li> <li>- Facteurs d'échelle, grandeurs influentes.</li> <li>- Assemblage des constituants.</li> <li>- Méthodes de mesures.</li> </ul> <p>-Dispositifs de contrôle. Scénarios de test. - Cycle de vie, stratégies d'écoconception.</p> <p>Intégrer les contraintes d'écoconception dans les architectures proposées.</p> <p>Réaliser tout ou partie de la chaîne de puissance.</p> <p>Analyser les écarts entre les performances d'un prototype et les exigences.</p> <p>Vérifier la cohérence du modèle choisi en confrontant les résultats analytiques et/ou numériques aux résultats expérimentaux.</p> <p>Modifier les paramètres et enrichir le modèle pour minimiser les écarts entre les résultats analytiques et/ou numériques et les résultats expérimentaux.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réaliser un prototype de tout ou partie d'un système en vue de valider l'architecture fonctionnelle et structurelle</li> <li>• Assembler un ou plusieurs constituants pour permettre de répondre à une fonction technique</li> <li>• Valider les choix des composants vis-à-vis des performances attendues</li> <li>• Définir les méthodes de mesures</li> <li>• Exploiter et interpréter des résultats de mesure ou de simulation</li> <li>• Extraire du cahier des charges les grandeurs pertinentes</li> <li>• Exploiter et interpréter les résultats d'un calcul ou d'une simulation (analyse de la modélisation proposée et des résultats obtenus)</li> <li>• Traiter des données de mesures et de simulations et extraire les caractéristiques statistiques</li> <li>• Utiliser des symboles et des unités adéquates</li> <li>• Vérifier l'homogénéité des résultats</li> <li>• Quantifier des écarts entre des valeurs attendues et des valeurs mesurées</li> <li>• Quantifier des écarts entre des valeurs attendues et des valeurs obtenues par simulation</li> <li>• Quantifier des écarts entre des valeurs mesurées et des valeurs obtenues par simulation</li> <li>• Rechercher et proposer des causes aux écarts constatés</li> <li>• Vérifier la cohérence du modèle choisi avec des résultats d'expérimentation.</li> </ul>