



# Annexe 3

## Programmes des classes préparatoires aux Grandes Ecoles

Filière : **scientifique**

Voie : **Physique, technologie et sciences de l'ingénieur (PTSI) – Physique et technologie (PT)**

Discipline : **Sciences industrielles de l'ingénieur**

**Première et seconde années**

# **PROGRAMME DE SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR DANS LA FILIÈRE PT-SI-PT**

Le programme de sciences industrielles de l'ingénieur dans la filière PT-SI-PT s'inscrit entre deux continuités : en amont avec les programmes rénovés du lycée, en aval avec les enseignements dispensés dans les grandes écoles et plus généralement les poursuites d'études universitaires. Il est conçu pour amener progressivement tous les étudiants au niveau requis non seulement pour poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, mais encore pour permettre de se former tout au long de la vie.

## **1. OBJECTIFS DE FORMATION**

### **1.1. Finalités**

Les prochaines décennies verront nos sociétés économiquement avancées contraintes de faire face à de nouveaux enjeux dans de nombreux domaines concernant les grands équilibres mondiaux. La demande d'une population mondiale en constante progression pèse sur l'accès à l'énergie, l'eau, l'alimentation, la formation, l'information, l'éducation et la santé. Par ailleurs, la mondialisation des échanges qui a un fort effet diffusant des savoirs-faire et des technologies, impose un effort de compétitivité qui permette au monde de la production et des services de rechercher sans cesse de nouvelles réalisations. Il en résulte la constante nécessité d'innover avec des cycles de développement de plus en plus courts et donc, de s'appuyer sur toutes les forces créatrices en sciences et technologies. Tel est notamment le défi imposé à notre pays, dont la matière première dans ce contexte est celle de l'intelligence, de la créativité et de la capacité d'innovation de ses ingénieurs et de ses chercheurs.

Tous ces défis sont d'autant plus cruciaux qu'ils devront être relevés dans un contexte de développement durable préservant les ressources naturelles non renouvelables et privilégiant un développement équilibré des ressources naturelles renouvelables.

Dans ce contexte, la formation des ingénieurs et des chercheurs devient un enjeu crucial de compétitivité pour notre pays. La filière PT-SI / PT, maillon du continuum de formation Classes Préparatoires aux Grandes Écoles / Grandes Écoles, s'adresse aux étudiants désireux d'acquérir une solide formation scientifique et humaine pour devenir, en cinq ans des ingénieurs et des chercheurs créatifs, pragmatiques et polyvalents capables de piloter des projets innovants au service des enjeux sociétaux.

Au cœur de la filière PT-SI / PT et associées aux disciplines scientifiques et humanistes, les sciences industrielles de l'ingénieur permettent aux étudiants d'acquérir et développer les compétences requises pour s'intégrer dans ce continuum de formation où le haut niveau scientifique et technique est au service de l'apprentissage d'un « vouloir et savoir entreprendre » pour maîtriser la conception et la réalisation d'objets technologiques et services complexes. Les étudiants doivent mobiliser toutes ces compétences en respectant les étapes de raisonnement de l'ingénieur reposant sur les démarches d'investigation, de résolution de problèmes et de projet.

Les études de systèmes industriels traitées relèvent des grands domaines comme l'énergie, l'agroalimentaire, la santé, les bâtiments et travaux publics, l'information et la communication, la production de biens et de services ou les transports.

## 1.2. Objectifs généraux

L'enseignement des sciences industrielles de l'ingénieur, dans la filière PTSI / PT, a pour objectif d'aborder et consolider l'apprentissage des démarches de création, d'innovation, d'anticipation, de conception, de réalisation et d'intégration qui permettent, de maîtriser une partie du cycle de vie du produit allant du cahier des charges (performances souhaitées par le commanditaire) jusqu'à la matérialisation du produit sous forme de maquette ou de prototype.

La conception et la modélisation des solutions, permettant de simuler tout ou partie du fonctionnement du produit et la réalisation d'un prototype permettant de mesurer expérimentalement les performances du produit constituent deux phases intermédiaires majeures du cycle de vie, nécessaires pour valider les choix d'architecture technique.

L'apprentissage de ces démarches amène l'étudiant à :

- prévoir les performances attendues de systèmes ou sous-systèmes à partir de modélisations, par l'évaluation de l'écart entre les performances simulées et les performances attendues imposées par le cahier des charges ;
- vérifier les performances attendues de systèmes ou sous-systèmes, par l'évaluation de l'écart entre le cahier des charges et les réponses expérimentales ;
- proposer des modélisations de systèmes ou sous-systèmes à partir d'essais d'identification et de modèles de comportement ou de connaissance, et valider ces modèles par l'évaluation de l'écart entre les performances mesurées et les performances simulées ;
- concevoir tout ou une partie d'un système en intégrant le champ de contraintes induit par la gestion du cycle de vie du produit dans le cadre du développement durable. L'innovation et la créativité sont également des marqueurs forts de la démarche de conception ;
- intégrer les procédés de réalisation dans la démarche globale de création d'un produit.

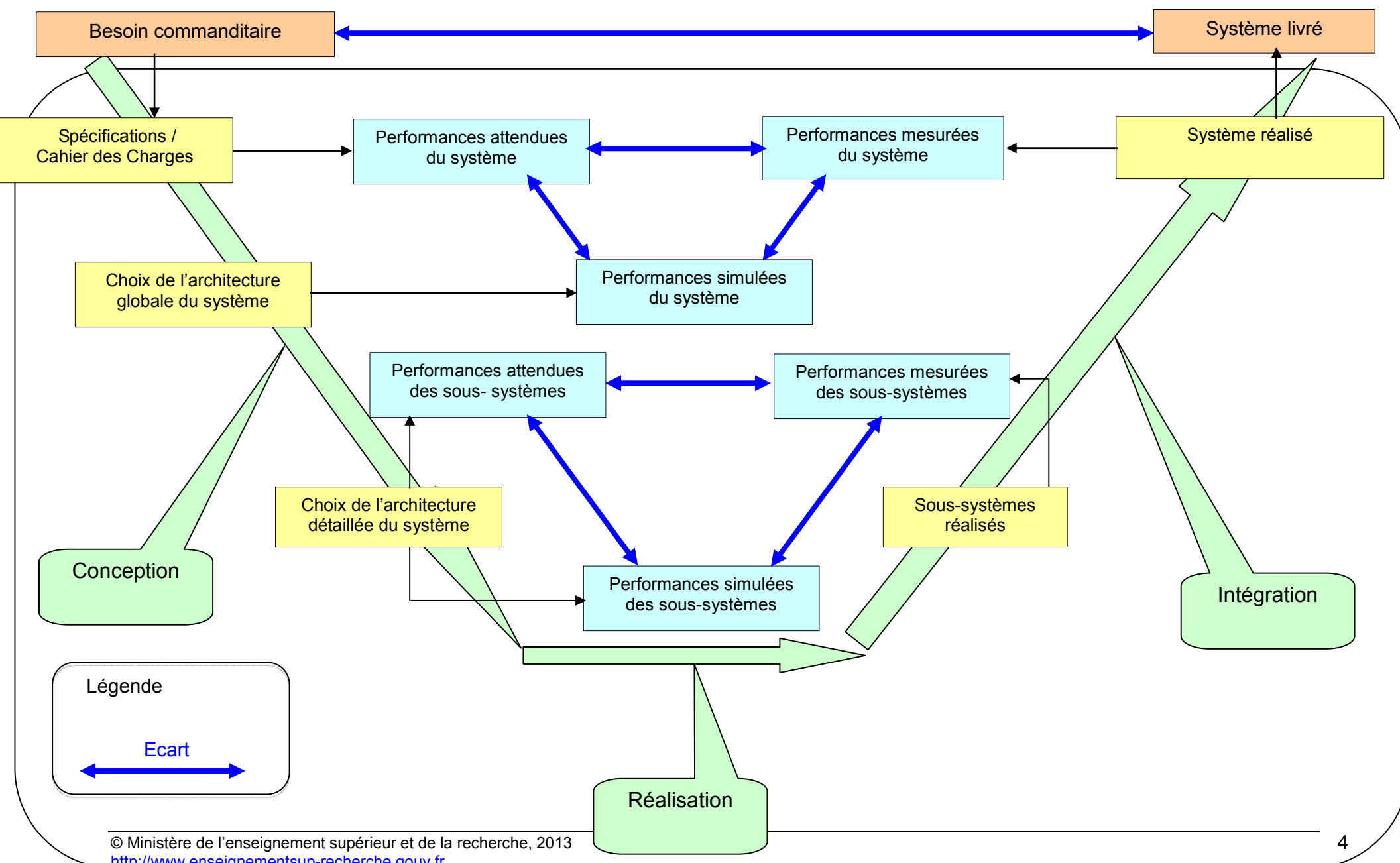
L'observation, la caractérisation et la quantification de ces écarts confrontent les étudiants de la filière PTSI / PT à une approche multi-échelles indispensable à la maîtrise de la démarche de conception / expérimentation / validation de produits industriels et services industriels pluri-technologiques. L'étudiant de la filière PTSI / PT doit d'abord s'appuyer sur le système réel pour appréhender le modèle selon l'échelle d'analyse choisie et ceci dans le but indispensable de rétroagir sur le réel.

L'identification et l'analyse des écarts présentés mobilisent des compétences transversales, qui sont développées en particulier en mathématiques et en sciences physiques. Les sciences industrielles de l'ingénieur constituent ainsi un vecteur de coopération interdisciplinaire et participent à la poursuite d'études dans l'enseignement supérieur.

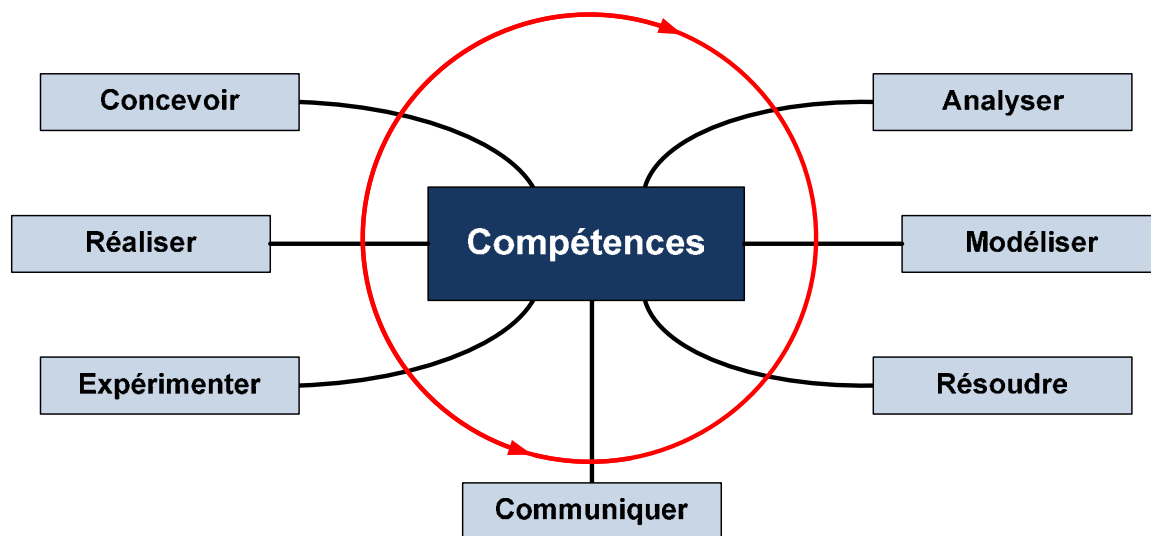
Les sciences industrielles de l'ingénieur développent des démarches pour analyser, concevoir et réaliser des systèmes complexes pluri-technologiques. Les compétences acquises sont ainsi transposables à l'ensemble des domaines scientifiques et technologiques, et permettent d'appréhender des situations inédites.

Les technologies de l'information et de la communication sont systématiquement mises en œuvre dans l'enseignement. Elles accompagnent toutes les activités proposées.

Toutes ces activités, individuelles et en équipe, s'inscrivent naturellement dans le contexte collaboratif d'un environnement numérique de travail (ENT).



L'enseignement des Sciences Industrielles de l'Ingénieur a pour objectif de développer les compétences présentées ci-dessous :



### 1.3. Usage de la liberté pédagogique

Les finalités et objectifs généraux de la formation en sciences industrielles de l'ingénieur laissent à l'enseignant une latitude certaine dans le choix de l'organisation de son enseignement, de ses méthodes, de sa progression globale, mais aussi dans la sélection de ses problématiques ou ses relations avec ses élèves, qui met fondamentalement en exergue sa liberté pédagogique, suffisamment essentielle pour lui être reconnue par la loi. La liberté pédagogique de l'enseignant peut être considérée comme le pendant de la liberté d'investigation de l'ingénieur et du scientifique.

Globalement dans le cadre de sa liberté pédagogique, le professeur peut organiser son enseignement en respectant deux principes :

- pédagogue, il doit privilégier la mise en activités d'étudiants en évitant le dogmatisme ; l'acquisition de connaissances et de savoir-faire sera d'autant plus efficace que les étudiants seront acteurs de leur formation. Les supports pédagogiques utilisés doivent notamment aider à la réflexion, la participation et l'autonomie des élèves. La détermination des problématiques et des systèmes, alliée à un temps approprié d'échanges, favorise cette mise en activité ;
- didacticien, il doit recourir à la mise en contexte des connaissances, des savoir-faire et des systèmes étudiés : les sciences industrielles de l'ingénieur et les problématiques qu'elles induisent se prêtent de façon privilégiée à une mise en perspective de leur enseignement avec l'histoire des sociétés, des sciences et des techniques, des questions d'actualité ou des débats d'idées ; l'enseignant de sciences industrielles de l'ingénieur est ainsi conduit naturellement à mettre son enseignement « en culture » pour rendre la démarche plus naturelle et motivante auprès des élèves.

## 2. PROGRAMME

L'organisation et les attendus du programme sont directement inspirés de la démarche de projet de l'ingénieur. Le séquençement, proposé ci-après, n'a en aucune manière pour objet d'imposer une chronologie dans l'étude du programme. Celui-ci est réparti en 4 semestres. Il sera fait appel, chaque fois que nécessaire, à une étude documentaire destinée à analyser et à traiter l'information relative à la problématique choisie.

### **A – Analyser**

- A1 - Identifier le besoin et définir les exigences du système
- A2 - Définir les frontières de l'analyse
- A3 - Conduire l'analyse

### **B – Modéliser**

- B1 - Justifier ou choisir les grandeurs nécessaires à la modélisation
- B2 - Proposer un modèle
- B3 - Valider un modèle

### **C – Résoudre**

### **D – Expérimenter**

- D1 - Découvrir le fonctionnement d'un système complexe
- D2 - Justifier et/ou proposer un protocole expérimental
- D3 - Mettre en œuvre un protocole expérimental et vérifier sa validité

### **E – Concevoir**

- E1 - Imaginer des architectures et des solutions technologiques
- E2 - Choisir une solution technique
- E3 - Dimensionner une solution technique

### **F – Réaliser**

### **G – Communiquer**

- G1 - Élaborer, rechercher et traiter des informations
- G2 - Mettre en œuvre une communication

Lorsque les connaissances et le(s) savoir-faire associé(s) sont positionnés au semestre Si, cela signifie :

- qu'ils doivent être acquis en fin de semestre Si ;
- qu'ils peuvent être utilisés aux semestres suivants ;
- qu'ils ont pu être introduits au cours des semestres précédents.

## A – Analyser

### A1 - Identifier le besoin et définir les exigences du système

À partir d'un système et/ou de sa documentation technique, l'étudiant doit être capable de décrire le besoin et les exigences auxquels le système doit répondre.

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
<b>Définitions normalisées</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Besoin, système, services attendus du système, cahier des charges fonctionnel, spécifications fonctionnelles, analyse du cycle de vie, acteurs, interactions, solution technique.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Décomposer une exigence en plusieurs exigences unitaires ;</li><li>Identifier des exigences de niveaux différents.</li></ul>	<b>S1</b>	
<i>Commentaires</i> On ne demande pas à l'étudiant de faire une analyse fonctionnelle à partir du besoin commanditaire mais d'être capable de lire les différents documents issus d'une analyse fonctionnelle. Le diagramme des exigences de SysML qui permet de représenter graphiquement les spécifications dans le modèle est particulièrement adapté dans ce cas.			

### A2 - Définir les frontières de l'analyse

À partir d'un système et/ou de sa documentation technique, l'étudiant doit être capable de définir la frontière du système et ses interactions avec les acteurs.

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
<b>Description générale du système</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Frontière d'étude, fonction globale et performance, cas d'utilisation, acteurs (humain ou systèmes connectés), interactions fonctionnelles, relations entre cas d'utilisation ;</li><li>Diagramme des cas d'utilisation de sysML ;</li><li>Diagramme de séquence de sysML.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Définir la frontière d'étude ;</li><li>Identifier les interactions entre les acteurs et le système étudié.</li></ul>	<b>S1</b>	
<i>Commentaires</i> On privilégiera l'utilisation des diagrammes sysML en lecture. La connaissance de la syntaxe du langage sysML ne peut être exigée. Pour montrer les interactions entre les acteurs et le système étudié, le diagramme des cas d'utilisation est particulièrement adapté. On utilisera le diagramme de séquence pour modéliser la chronologie des interactions entre les éléments du système ou entre le système et l'extérieur.			

### A3 - Conduire l'analyse

À partir d'un système et/ou de sa documentation technique, l'étudiant doit être capable de :

- définir la structure d'un système ;
- qualifier le comportement.

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
<b>Architecture générale d'un produit</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse structurelle et comportementale ;</li> <li>• Chaîne d'information, chaîne d'énergie.</li> </ul>	Analyser un système d'un point de vue structurel et comportemental.	<b>S1</b>	
<i>Commentaires</i> <i>Les chaînes d'information et d'énergie peuvent être décrites par des diagrammes sysML.</i>			
<b>Analyse d'architecture et de comportement</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Élément structurel, décomposition d'un ensemble en systèmes, sous systèmes, composants, logique de connexion, interaction entre deux parties ;</li> <li>• Comportement du système : machine d'état, transition, états, actions, activité, évènement, conditions, état initial, état final ;</li> <li>• Flux de données, contrôle entre les actions.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Situer le système dans son environnement en phase d'usage ;</li> <li>- Définir les phases principales de vie du système ;</li> <li>- Décomposer un système en sous systèmes, composants ;</li> <li>- Décrire la structure interne du système en termes de parties, ports et connecteurs ;</li> <li>- Identifier les fonctions;</li> <li>- Identifier les composants associés.</li> </ul>	<b>S2</b>	
<i>Commentaires</i> <i>L'outil sysML est privilégié pour la décomposition structurelle en sous-ensembles fonctionnels et l'analyse du comportement du système.</i>			
<b>Association de pré actionneurs et d'actionneurs</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caractéristiques ;</li> <li>• Domaines d'application.</li> </ul>	Analyser une association de pré actionneurs et d'actionneurs.		<b>S3</b>
<i>Commentaires</i> <i>À étudier par exemple pour les solutions techniques d'association machines + convertisseurs et distributeur + vérin/moteur.</i>			
<b>Transmetteurs de puissance</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caractéristiques ;</li> <li>• Domaines d'application.</li> </ul>	Analyser une solution de transmission de puissance	<b>S2</b>	
<i>Commentaires</i> <i>À étudier principalement pour les mécanismes de transformation et/ou transmission de mouvement.</i>			



<b>Commandes programmables</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fonctions ;</li> <li>• Composants programmables.</li> </ul>	Identifier les caractéristiques de la commande, E/S analogiques, numériques.		<b>S3</b>
<b>Description fonctionnelle des systèmes de traitement de l'information</b> Architecture générale de la chaîne d'information.	Identifier et décrire les composants associés au traitement de l'information.		<b>S3</b>
<b>Information</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Définition et nature, information et support d'information ;</li> <li>• Information discrète (TOR et numérique), codage ;</li> <li>• Information analogique.</li> </ul>	Identifier la nature et le support d'information.		<b>S3</b>
<b>Capteurs</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fonctions ;</li> <li>• Nature des grandeurs physiques d'entrées et de sorties ;</li> <li>• Nature du signal, support de l'information.</li> </ul>	Caractériser un capteur (grandeur physique observée et utilisable, transducteur).		<b>S3</b>
<b>Commentaires</b> <i>À étudier pour une ou plusieurs solutions techniques relatives aux :</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>position, déplacement, vitesse et accélération ;</i></li> <li>- <i>efforts et pressions ;</i></li> <li>- <i>débits et températures.</i></li> </ul>			

<p><b>Structure des systèmes asservis</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Définition et structure d'un système asservi : chaîne directe (ou chaîne d'action), chaîne de retour (ou chaîne d'acquisition), comparateur et écart ;</li> <li>• Consigne, perturbation ;</li> <li>• Régulation, poursuite ;</li> <li>• Définition des performances : rapidité, précision et stabilité.</li> </ul>	<p>Justifier la nécessité d'un asservissement (analyse du couple performances / perturbations).</p>	<p><b>S2</b></p>	
<p><b>Matériaux</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Classes des matériaux, domaines généraux d'application ;</li> <li>• Propriétés physiques (métallurgique, magnétique, électrique, mécanique, thermique, acoustique).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparer qualitativement les caractéristiques physiques des matériaux ;</li> <li>- Justifier le choix d'un matériau en fonction de ses caractéristiques.</li> </ul>	<p><b>S3</b></p>	
<p><i>Commentaires</i>  <i>Pour les propriétés électriques des matériaux on se reportera au cours de physique.</i>  <i>Pour les propriétés mécaniques (issues des essais de traction, dureté, résilience, fatigue), on se limitera aux propriétés :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>liées au procédé (usinabilité, moulabilité, soudabilité, ductilité) ;</i></li> <li>- <i>tribologiques : coefficient de frottement et propriétés de comportement des contacts entre couples de matériaux ;</i></li> </ul> <p><i>La connaissance des désignations normalisées ne peut-être exigée qu'à partir de ressources fournies.</i></p>			
<p><b>Spécifications géométriques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les principes, les exigences (enveloppe et maxi matière) ;</li> <li>• Spécifications géométriques des produits ;</li> <li>• Tolérancement dimensionnel et géométrique ;</li> <li>• Références spécifiés et système de références.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Décoder les spécifications géométriques ;</li> <li>- Justifier le caractère fonctionnel de la spécification.</li> </ul>	<p><b>S2</b></p>	
<p><i>Commentaires</i>  <i>Les définitions sont décrites par les normes ISO en vigueur.</i>  <i>La démarche sera celle du GPS.</i></p>			

## B – Modéliser

### B1 - Justifier ou choisir les grandeurs nécessaires à la modélisation

Un système étant fourni, et les exigences définies, l'étudiant doit être capable de :

- définir la frontière de tout ou partie d'un système et répertorier les interactions ;
- identifier et choisir les grandeurs et les paramètres influents en vue de modéliser.

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
<b>Isolement d'un solide ou d'un système de solides</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Approche mécanique ;</li><li>• Approche énergétique.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Identifier les paramètres cinématiques d'entrée et de sortie d'une chaîne cinématique de transformation de mouvement ;</li><li>- Réaliser l'inventaire des actions mécaniques agissant sur un solide ou un système de solides ;</li><li>- Identifier les puissances extérieures à un solide ou à un système de solides ;</li><li>- Identifier les puissances intérieures à un système de solides.</li></ul>	<b>S2</b>	
<i>Commentaire</i> <i>Pour l'approche énergétique, l'objectif se limite à identifier la qualité (interne ou externe) et la nature des énergies échangées ou converties.</i>			

### B2 - Proposer un modèle

Un système étant fourni, et les exigences définies, l'étudiant doit être capable de :

- définir les hypothèses retenues pour la proposition d'un modèle ;
- proposer un modèle de connaissance du système ou partie du système à partir des lois physiques ;
- proposer un modèle de comportement du système ou partie du système à partir des résultats expérimentaux.

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
<b>Systèmes linéaires continus et invariants</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modélisation par équations différentielles ;</li> <li>• Représentation par fonction de transfert (formalisme de Laplace) ;</li> <li>• Modèles canoniques 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> ordre.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier le comportement d'un système pour l'assimiler à un modèle canonique, à partir d'une réponse temporelle ou fréquentielle ;</li> <li>- Établir un modèle de comportement à partir de relevés expérimentaux.</li> </ul>	<b>S1</b>	
<i>Commentaire</i> <i>On pourra étudier les systèmes du premier ordre présentant un retard pur.</i>			
<b>Systèmes linéaires discrets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caractérisation des signaux à temps discret ;</li> <li>• Modélisation par équations aux différences ;</li> <li>• Modélisation de l'intégrateur par une somme discrète.</li> </ul>	Déterminer la période d'échantillonnage.		<b>S3</b>
<i>Commentaires</i> <i>On s'attachera à mettre en évidence les limites du modèle linéaire continu vis-à-vis de l'augmentation de la période de l'échantillonnage.</i> <i>La transformée en z n'est pas au programme.</i>			
<b>Systèmes linéaires continus invariants asservis</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Représentation par schéma-bloc ;</li> <li>• Fonction de transfert en boucle ouverte et en boucle fermée ;</li> <li>• Classe d'un système.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Établir le schéma-bloc du système ;</li> <li>- Déterminer les fonctions de transfert du système en boucle ouverte et en boucle fermée.</li> </ul>	<b>S1</b>	
<b>Systèmes à événements discrets</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modélisation des systèmes à événements discrets (fonctions logiques, tables de vérité, algorigrammes, graphe d'état);</li> <li>• Modèles algorithmiques : structures algorithmiques élémentaires (boucles, conditions, transitions conditionnelles) ;</li> <li>• Variables.</li> </ul>	Traduire le comportement d'un système à événement discret.	<b>S2</b>	
<i>Commentaires</i> <i>On utilisera le diagramme d'états et le diagramme de séquences de SysML.</i> <i>La mise en œuvre de systèmes n'exclut pas l'utilisation de descripteurs spécifiques imposés par leur environnement.</i> <i>La simplification des équations logiques n'est pas au programme.</i>			

<p><b>Modélisation des sources et des circuits électriques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modèle des sources parfaites continues et alternatives (générateur de tension ou de courant) ;</li> <li>• Modèles de sources réelles par association de dipôles parfaits ;</li> <li>• Modélisation des circuits électriques par les lois de l'électrocinétique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utiliser les modèles élémentaires pour modéliser les sources réelles ;</li> <li>- Choisir le modèle de source approprié aux conditions de variation des grandeurs physiques.</li> </ul>	<b>S2</b>	
<p><b>Modélisation des convertisseurs statiques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Règles d'association des sources électriques ;</li> <li>• Modèles des interrupteurs ;</li> <li>• Association des interrupteurs : cellule élémentaire de commutation ;</li> <li>• Caractéristiques des convertisseurs : <ul style="list-style-type: none"> <li>- nature des grandeurs d'entrée-sortie,</li> <li>- réversibilité.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Associer des sources directement ou par des cellules de commutation ;</li> <li>- Choisir la nature des interrupteurs de la cellule de commutation.</li> </ul>	<b>S2</b>	
<p><i>Commentaires</i>  On se limitera à l'étude :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>fonctionnelle des interrupteurs deux ou trois segments ;</i></li> <li>- <i>structurelle des convertisseurs à deux ou trois cellules de commutation (hacheurs et onduleurs).</i></li> </ul>			

<p><b>Modélisation d'une chaîne de conversion électromécanique</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modèle de connaissance électromécanique de la machine à courant continu ;</li> <li>• Modèle de comportement de la machine à courant continu (premier ordre électrique et premier ordre mécanique) ;</li> <li>• Modèle statique de la machine synchrone : schéma monophasé (FEM induite, réactance synchrone et résistance) ;</li> <li>• Modèle statique de la machine asynchrone : schéma monophasé équivalent (inductance magnétisante en parallèle avec la résistance et l'inductance de fuite du rotor) ;</li> <li>• Variation de vitesse des machines en couple ou en vitesse ;</li> <li>• Intégration du convertisseur, de la machine associée et de sa charge dans un système linéaire bouclé ;</li> <li>• Bilan des puissances de la chaîne de transformation de l'énergie.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caractériser le comportement de l'association convertisseur, machine et charge associée en vue de caractériser la réversibilité de la chaîne d'énergie ;</li> <li>- Identifier les quadrants de fonctionnement d'une chaîne d'énergie.</li> </ul>		<b>S3</b>
<p><i>Commentaires</i>  On ne traitera pas de la physique de la machine. Les modèles des machines alternatives seront fournis. Le comportement des machines alternatives sera étudié en alimentation en fréquence fixe (ou lentement variable) utilisant les modèles linéaires continus statiques. Seule la commande scalaire sera étudiée (commande en « U/f » et en courant).</p>			
<p><b>Transmission de données</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Approche fonctionnelle des réseaux de communication, cas du TCP/IP ;</li> <li>• Paramètres de configuration d'un réseau.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caractériser un réseau (débit, robustesse, dimension, topologie) ;</li> <li>- Choisir un type de réseau à partir des exigences ;</li> <li>- Paramétrer la liaison d'un équipement raccordé à un réseau.</li> </ul>	<b>S2</b>	
<p><i>Commentaires</i>  L'étude des réseaux est appliquée à des exemples simples et réels, I<sup>2</sup>C, CAN, Ethernet.</p>			

<b>Modèles de solide</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modèle de solide indéformable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Associer le modèle du solide indéformable au comportement cinématique d'un solide ;</li> <li>- Réaliser la maquette numérique d'un solide à l'aide d'un modèleur volumique 3D.</li> </ul>	<b>S1</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modèle tolérancé.</li> </ul>	Définir les éléments de cotation permettant de qualifier un solide du point de vue dimensionnel et géométrique par rapport à une fonction définie.	<b>S2</b>	
<b>Commentaires</b> <i>On se limite au tolérancement dimensionnel et géométrique en rapport avec une fonction d'assemblage.</i> <i>On ne chiffre pas la valeur du tolérancement.</i>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caractéristiques d'inertie d'un solide indéformable (masse, opérateur d'inertie).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Connaître la forme de la matrice d'inertie d'un solide et ses particularités et simplifications en fonction de la forme d'un solide ;</li> <li>- Utiliser un modèleur volumique 3D pour déterminer la masse et les termes de la matrice d'inertie d'un solide ;</li> <li>- Interpréter la signification des termes de la matrice d'inertie ;</li> </ul>	<b>S3</b>	
<i>Le calcul des termes non nuls sera limité aux cas simples.</i>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solide déformable localement en surface.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Associer le modèle du solide déformable localement en surface au comportement de solides en contact ;</li> <li>- Utiliser le modèle de Hertz (fourni) pour déterminer les déplacements et les pressions dans les contacts linéiques ou ponctuels ;</li> </ul>	<b>S3</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solide déformable globalement en petites déformations (modèle poutre droite) :           <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hypothèses de comportement (isotropie, homogénéité) ;</li> <li>- Loi de déformation élastique linéaire.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Associer le modèle poutre du solide déformable globalement en petites déformations à la géométrie et au comportement d'un solide ;</li> <li>- Connaître la signification et des ordres de grandeur du module d'Young, coefficient de Poisson des matériaux courants.</li> </ul>	<b>S3</b>	

<p><b>Modélisation géométrique et cinématique des mouvements entre solides indéformables</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Déplacement des points d'un solide : repère lié à un solide, paramètres géométriques linéaires et angulaires définissant la position d'un solide par rapport à un autre, déplacements et petits déplacements d'un solide, torseur des petits déplacements.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Associer un repère à un solide ;</li> <li>- Identifier les degrés de liberté d'un solide en mouvement par rapport à un repère ;</li> <li>- Réaliser le paramétrage d'un mécanisme simple ;</li> <li>- Prendre en compte les symétries ou les restrictions de mouvement pour simplifier les modèles.</li> </ul>	<b>S1</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Champ des vecteurs vitesses des points d'un solide ;</li> <li>• Torseur cinématique caractérisant le mouvement d'un solide ;</li> <li>• Composition des vitesses ;</li> <li>• Champ des vecteurs accélérations des points d'un solide ;</li> <li>• Composition des accélérations.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Déterminer la trajectoire d'un point d'un solide ;</li> <li>- Écrire le vecteur position, vitesse d'un point d'un solide, dans les systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindriques, sphériques ;</li> <li>- Écrire le torseur cinématique caractérisant le mouvement d'un solide ;</li> <li>- Écrire le vecteur accélération d'un point d'un solide.</li> </ul>	<b>S1</b>	
<p><i>On étudiera les mouvements particuliers suivants : rotation autour d'un axe fixe, translation, hélicoïdal, mouvement plan sur plan.</i></p>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modélisation cinématique des liaisons entre solides : <ul style="list-style-type: none"> <li>- liaisons parfaites normalisées,</li> <li>- degré de liberté,</li> <li>- liaisons réelles.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier la nature du contact entre deux solides ;</li> <li>- Identifier, dans le cas du contact ponctuel, le vecteur vitesse de glissement ainsi que les vecteurs rotation de roulement et de pivotement ;</li> <li>- Associer un modèle de liaison au comportement cinématique d'une liaison réelle.</li> </ul>	<b>S1</b>	
<p><b>Modélisation géométrique du déplacement des points d'un solide déformable</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hypothèse de Navier Bernoulli ;</li> <li>• Hypothèse des petits déplacements : torseur des petits déplacements d'une section droite ;</li> <li>• Torseur des déformations.</li> </ul>	<p>Écrire le torseur des petits déplacements et le torseur des déformations au centre d'inertie d'une section droite.</p>	<b>S3</b>	
<p><i>Commentaires</i> <i>On utilisera le modèle poutre.</i></p>			



<p><b>Modèle cinématique d'un mécanisme</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Liaison cinématiquement équivalente ;</li> <li>• Mobilité d'une chaîne ouverte ;</li> <li>• Hyperstatisme et mobilité d'une chaîne fermée.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Élaborer un graphe de liaisons ;</li> <li>- Élaborer un schéma cinématique plan ou 3D d'un mécanisme (réel, maquette numérique, plan d'ensemble, etc.) ;</li> <li>- Déterminer la liaison cinématiquement équivalente à une association de liaisons ;</li> <li>- Déterminer les mobilités d'un mécanisme ;</li> <li>- Déterminer le degré d'hyperstaticité d'un mécanisme ;</li> <li>- Identifier les conséquences géométriques de l'hyperstaticité.</li> </ul>	<b>S2</b>	
<p><b>Modélisation des actions mécaniques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modèle local (densité surfacique, linéique et volumique d'effort) : <ul style="list-style-type: none"> <li>- contact parfait ;</li> <li>- modélisation du frottement sec - Lois de Coulomb ;</li> <li>- modélisation de résistance au roulement ;</li> <li>- modélisation de résistance au pivotement ;</li> </ul> </li> <li>• Modèle global (torseur d'action mécanique) ;</li> <li>• Modèle global du frottement visqueux.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Associer un modèle à une action mécanique ;</li> <li>- Écrire la relation entre le modèle local et le modèle global associé aux actions mécaniques dans les cas suivants : action d'un fluide, action entre solides (liaisons avec et sans frottement) ;</li> <li>- Écrire le modèle global de l'action de la pesanteur, du frottement fluide, de la résistance au roulement et du pivotement ;</li> <li>- Associer un modèle global d'effort au comportement d'une liaison réelle ;</li> </ul>	<b>S2</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Principe fondamental de la statique.</li> </ul>	<p>Appliquer le principe fondamental de la statique à un solide ou un système de solides.</p>	<b>S2</b>	
<p><i>Commentaires</i>  Le PFS peut être présenté comme un cas particulier du PFD.</p>			

<p><b>Modélisation des actions intérieures à un solide (torseur de cohésion) ;</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Équations d'équilibre global et local ;</li> <li>• Modélisation du champ de contraintes locales ;</li> <li>• Champ des contraintes dans une section droite ;</li> <li>• Hypothèse de Barré-de Venant.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Déterminer le torseur de cohésion dans un solide ;</li> <li>- Identifier les sollicitations (traction, compression, flexion, torsion, cisaillement) ;</li> <li>- Identifier la nature des contraintes (normale et tangentielle) en un point de la section droite.</li> </ul>		<b>S3</b>
<p><b>Modélisation dynamique des solides</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Torseur cinétique et torseur dynamique d'un système de solides en mouvement par rapport à un repère ;</li> <li>• Énergie cinétique d'un système de solides par rapport à un repère ;</li> <li>• Puissance des actions mécaniques extérieures à un système de solides en mouvement par rapport à un repère ;</li> <li>• Puissance des actions mécaniques intérieures à un système de solides.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Écrire les torseurs cinétique et dynamique d'un système de solides en mouvement par rapport à un repère ;</li> <li>- Exprimer l'énergie cinétique d'un système de solides dans un repère;</li> <li>- Exprimer la puissance des actions mécaniques extérieures à un système de solides par rapport à un repère ;</li> <li>- Exprimer la puissance des actions mécaniques intérieures à un système de solides.</li> </ul>		<b>S3</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Principe fondamental de la dynamique dans un référentiel galiléen ;</li> <li>• Théorème de l'énergie-puissance dans un référentiel galiléen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Appliquer le principe fondamental de la dynamique à un système de solides ;</li> <li>- Appliquer le théorème de l'énergie-puissance à un système de solides.</li> </ul>		<b>S3</b>
<p><b>Représentation causale</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Variable d'état ;</li> <li>• Relation de transformation (équations différentielles) ;</li> <li>• Accumulateur d'énergie cinétique, accumulateur d'énergie potentielle ;</li> <li>• Dissipateur d'énergie ;</li> <li>• Modulateur, gyrateur.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier les flux d'énergie qui transitent dans un système ;</li> <li>- Écrire un schéma bloc du système.</li> </ul>		<b>S3</b>
<p><i>Commentaires</i>  <i>Cette démarche a pour but d'écrire un schéma bloc et d'illustrer le transfert d'énergie. Par exemple, on pourra s'appuyer sur un graphe informationnel causal pour identifier les flux d'énergie qui transitent dans un système.</i></p>			

<p><b>Systèmes non linéaires</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modèle de non linéarité (hystérésis, saturation, seuil, retard) ;</li> <li>• Linéarisation du comportement des systèmes non linéaires continus.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifier les non linéarités ;</li> <li>- Identifier le point de fonctionnement pour la linéarisation du modèle du système non linéaire.</li> </ul>		<b>S3</b>
<p><i>Commentaires</i> On cherchera à montrer les limites du modèle linéaire.</p>			
<p><b>Modélisation des systèmes asservis</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stabilité : <ul style="list-style-type: none"> <li>- définition, nature de l'instabilité (apériodique, oscillatoire),</li> <li>- contraintes technologiques engendrées,</li> <li>- interprétation dans le plan des pôles,</li> <li>- critère du revers,</li> <li>- marges de stabilité,</li> <li>- dépassement.</li> </ul> </li> </ul>	<p>Caractériser la stabilité (marges de stabilité).</p>		<b>S4</b>
<p><i>Commentaires</i> L'étude des fonctions de transfert en boucle ouverte à pôles à partie réelle strictement positive est exclue du programme.</p>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pôles dominants et réduction de l'ordre du modèle ;</li> <li>• Performances et réglages ;</li> <li>• Précision d'un système asservi en régime permanent pour une entrée en échelon, une entrée en rampe, une entrée en accélération ;</li> <li>• Rapidité d'un système asservi : <ul style="list-style-type: none"> <li>- temps de réponse,</li> <li>- bande passante.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Justifier une simplification du modèle ;</li> <li>- Déterminer l'influence du gain et de la classe de la fonction de transfert en boucle ouverte sur la précision et la rapidité ;</li> </ul>		<b>S4</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amélioration des performances d'un système asservi ; <ul style="list-style-type: none"> <li>- critères graphiques de stabilité dans les plans de Black, Bode, marges de stabilité ;</li> <li>- influence et réglage d'une correction proportionnelle, intégrale, dérivée ;</li> <li>- prise en compte d'une perturbation constante, créneau ou sinusoïdale.</li> </ul> </li> </ul>	<p>Mener une démarche de réglage d'un correcteur pour obtenir les performances attendues.</p>		<b>S4</b>
<p><i>Commentaires</i> Le réglage complet d'une correction P.I.D. ne peut être exigé.</p>			

On pourra décrire les correcteurs à avance et à retard de phase.

### B3 – Valider un modèle

Définir le domaine de validité d'un modèle

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
<b>Systemes asservis</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Point de fonctionnement ;</li> <li>Non-linéarités (hystérésis, saturation, seuil...).</li> </ul>	Vérifier la cohérence du modèle choisi avec les résultats d'expérimentation ou/et de simulation.		<b>S3</b>
<i>Commentaires</i> Les approximations faites, leur cohérence et le domaine de validité sont précisés par rapport aux objectifs.			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Grandeurs influentes d'un modèle.</li> </ul>	Déterminer les grandeurs influentes, modifier les paramètres et enrichir le modèle pour minimiser l'écart entre les résultats simulés et les réponses mesurées.		<b>S4</b>

## C - Résoudre

À partir des modèles retenus :

- choisir une méthode de résolution analytique, graphique, numérique ;
- mettre en œuvre une méthode de résolution.

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
<b>Loi entrée sortie géométrique et cinématique</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fermeture géométrique ;</li> <li>Fermeture cinématique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Choisir un modèle et une méthode de résolution ;</li> <li>Déterminer graphiquement le champ des vecteurs vitesses des points d'un solide dans le cas de mouvements plan sur plan ;</li> <li>Déterminer une loi entrée sortie.</li> </ul>	<b>S1</b>	
<b>Actions mécaniques dans les liaisons, équations de mouvement</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Théorème des actions réciproques ;</li> <li>Hyperstatisme.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Choisir un modèle et une méthode de résolution (choix des isollements et théorèmes appliqués) ;</li> <li>Déterminer les actions mécaniques désirées ;</li> <li>Écrire l'équation différentielle du mouvement ;</li> </ul>		<b>S3</b>
<i>Commentaires</i> On étudiera les cas particuliers suivants : <ul style="list-style-type: none"> <li>- solide soumis à deux glisseurs et à trois glisseurs (résolution graphique) ;</li> <li>- condition d'arc-boutement, disposition de deux contacts autobloquants ;</li> <li>- méthodes de résolution des problèmes (graphique, analytique avec ou sans outil informatique).</li> </ul>			

<i>L'ordre des systèmes hyperstatiques est limité à 1.</i>			
<b>Contraintes</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Relations entre contraintes et composantes du torseur de cohésion.</li> </ul>	Déterminer les contraintes dans une section droite à partir des composantes du torseur de cohésion.		<b>S3</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Déplacements des points de la ligne moyenne d'une poutre : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Théorème de superposition,</li> <li>- Lois de comportement.</li> </ul> </li> </ul>	Déterminer les déplacements le long de la ligne moyenne à partir des déformations.		<b>S3</b>
<i>Contraintes</i> <i>L'étude des déformées est limitée aux cas simples : traction simple, torsion des poutres cylindriques à section circulaire, flexion plane d'une poutre comportant au maximum deux tronçons.</i>			
<b>Grandeurs électriques dans un circuit</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Loi des nœuds, loi des mailles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Choisir une méthode de résolution pour déterminer les grandeurs électriques ;</li> <li>- Déterminer les grandeurs choisies.</li> </ul>	<b>S1</b>	
<i>Commentaires</i> <i>Cette partie peut être traitée en lien avec le cours de physique.</i>			
<b>Performances d'un système asservi</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Simplification d'un schéma bloc : déplacement d'un sommateur, déplacement d'un point de prélèvement.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Déterminer à partir d'un schéma bloc ou d'une fonction de transfert les grandeurs caractérisant les performances du modèle ;</li> <li>- Tracer une réponse temporelle ou fréquentielle.</li> </ul>	<b>S2</b>	
<b>Utilisation d'un solveur ou d'un logiciel multi physique</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Paramètres de résolution numérique ;</li> <li>Durée de calcul ;</li> <li>Pas de calcul.</li> </ul>	Choisir les valeurs des paramètres de la résolution numérique ;	<b>S2</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Grandeurs simulées.</li> </ul>	Choisir les grandeurs physiques tracées ;	<b>S2</b>	
<i>Commentaires</i> <i>Le choix des grandeurs analysées doit être en lien avec les performances à vérifier.</i>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Variabilité des paramètres du modèle de simulation.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Choisir les paramètres de simulation ;</li> <li>- Faire varier un paramètre et comparer les courbes obtenues ;</li> </ul>		<b>S4</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ordres de grandeurs des résultats attendus ;</li> <li>Modèles de comportement et de connaissances des systèmes expérimentés.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparer les résultats obtenus aux grandeurs physiques réelles mesurées ou attendues ;</li> <li>- Interpréter les écarts.</li> </ul>		<b>S4</b>

## D - Expérimenter

### D1 – Découvrir le fonctionnement d'un système complexe

Mettre en œuvre un système fourni ou d'un prototype en vue de recueillir des données expérimentales en toute sécurité.

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
<b>Chaîne d'énergie et d'information</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Connaissances liées aux composants de la chaîne d'énergie.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mettre en œuvre un système ;</li> <li>Extraire et organiser les données des constructeurs ;</li> <li>Repérer les constituants d'une chaîne d'énergie et d'informations ;</li> <li>Identifier les grandeurs physiques d'effort et de flux.</li> </ul>		<b>S4</b>

### D2 - Justifier et/ou proposer un protocole expérimental

À partir d'un système fourni et d'un cahier des charges associé :

- identifier les capteurs utilisés et les grandeurs associées ;
- choisir une chaîne de mesure adaptée ;
- modifier un système en agissant sur un programme de commande ou un constituant matériel en vue d'évaluer l'influence de la modification sur le comportement du système.

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
<b>Chaîne d'acquisition</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bande passante ;</li> <li>Qualités caractéristiques des capteurs (sensibilité, fidélité, linéarité, précision ;</li> <li>Perturbation produite par un capteur sur la grandeur mesurée.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identifier les grandeurs à mesurer ;</li> <li>Associer un principe physique à l'acquisition de la grandeur mesurée (en lien avec le cours de physique) ;</li> <li>Choisir les réglages et les configurations matérielles sur le système ou la chaîne d'acquisition ;</li> <li>Qualifier les caractéristiques d'entrée-sortie d'un capteur ;</li> <li>Justifier le choix et les caractéristiques d'un capteur ou d'un appareil de mesure vis-à-vis de la grandeur physique à mesurer ;</li> <li>Proposer ou justifier l'implantation de la prise de mesure.</li> </ul>		<b>S4</b>

### D3 - Mettre en œuvre un protocole expérimental et vérifier sa validité

<p>Un protocole expérimental étant défini :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- conduire les essais en respectant les consignes de sécurité ;</li> <li>- évaluer la pertinence et apprécier la validité des résultats expérimentaux.</li> </ul>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
<p><b>Résultats expérimentaux</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ordres de grandeurs des résultats attendus ;</li> <li>• Modèles de comportement et de connaissances des systèmes expérimentés.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en œuvre un environnement recréé (par exemple : expérimentation assisté par ordinateur) ;</li> <li>- Identifier les erreurs de mesure ;</li> <li>- Identifier les erreurs de méthode ;</li> <li>- Évaluer et commenter les écarts entre les résultats expérimentaux avec l'ordre de grandeurs des résultats attendus (simulés ou définis au cahier des charges).</li> </ul>		<b>S4</b>
<p><b>Ordres de grandeurs des résultats attendus</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modèles de comportement et de connaissances des systèmes expérimentés.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparer les résultats obtenus aux grandeurs physiques simulées ou attendues ;</li> <li>- Interpréter les écarts.</li> </ul>		<b>S4</b>

## E - Concevoir

### E1 - Imaginer des architectures et des solutions technologiques

À partir d'un cahier des charges fonctionnel, proposer et justifier des architectures (fonctionnelles, structurelles) de tout ou partie d'un système.

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
<p><b>Conception de systèmes pluri technologiques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Architecture fonctionnelle de systèmes ;</li> <li>• Architecture structurelle de systèmes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proposer une architecture fonctionnelle ;</li> <li>- Proposer une architecture structurelle.</li> </ul>		<b>S4</b>
<p><i>Commentaires</i> On pourra proposer une solution constructive en associant ou en dissociant les fonctions. On s'intéressera à la transformation de mouvements et la transformation de l'énergie.</p>			
<p><b>Démarche de conception appliquée aux fonctions techniques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caractérisation d'une fonction technique ;</li> <li>• Recherche de solutions techniques.</li> </ul>	<p>Intégrer des composants de la chaîne d'information ou de la chaîne d'énergie du système ou du sous système étudié.</p>		<b>S4</b>
<p><b>Les fonctions techniques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caractérisation de la fonction technique ;</li> <li>• Familles de solutions associées ;</li> <li>• Technologie des composants ;</li> <li>• Critères de choix.</li> </ul> <p>Pour les fonctions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- la fonction assemblage ;</li> <li>- la fonction guidage en rotation ;</li> <li>- la fonction guidage en translation.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proposer des solutions ;</li> <li>- Choisir et justifier une solution parmi plusieurs.</li> </ul>		<b>S4</b>
<p><i>Commentaires</i> La culture des solutions technologiques sera basée sur les solutions par contact. D'autres solutions technologiques pourront être étudiées à partir de documents ressources fournis.</p>			



- Typologie (ou classification) des procédés et leurs caractéristiques ;
  - Typologie des matériaux et leurs caractéristiques ;
  - Interactions fonction – matériau – procédé ;
  - Méthode de choix des matériaux et des procédés (fonction, objectif, contraintes) ;
  - Indicateur de performance. Diagramme de choix des matériaux ;
  - Influence du procédé sur la géométrie des pièces ;
  - Ordre de grandeurs des classes de tolérances dimensionnelles des familles de procédés.
- Élaborer des indicateurs de performance relatifs aux fonctions auxquelles participe la pièce ;
  - Choisir des couples matériaux/procédés à partir de documents ou de bases de données.

*Commentaires*  
 Les critères économiques de sélection seront évoqués.  
 Seule une connaissance des procédés figurant dans la partie F (réaliser) peut être demandée.  
 D'autres procédés pourront être étudiés à partir de documents ressources fournis.

**E2 – Choisir une solution technique**

À partir d'un cahier des charges fonctionnel, d'une documentation technique et d'une architecture système donnée, l'étudiant doit être capable de choisir les solutions techniques.

<b>Connaissances</b>	<b>Savoir-faire</b>	<b>1<sup>re</sup> année</b>	<b>2<sup>e</sup> année</b>
<p><b>Méthodes de conception</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Critères de choix de la solution technique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proposer et hiérarchiser des critères de choix ;</li> <li>- Choisir et justifier la solution technique.</li> </ul>		<b>S4</b>

*Commentaires*  
 En relation avec le cahier des charges du système, on s'intéressera en particulier aux critères suivants :

- *précision, rapidité ;*
- *autonomie ;*
- *réversibilité ;*
- *rendement ;*
- *durée de vie ;*
- *rigidité, déformation ;*
- *impact environnemental ;*
- *encombrement.*

*Cette liste est non exhaustive.*

### E3 - Dimensionner une solution technique

À partir d'une solution technique choisie, dimensionner les composants.

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
<p><b>Méthodes de dimensionnement des solutions techniques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Puissance dissipée ;</li> <li>• Grandeurs maximales admissibles.</li> </ul> <p>Critères de dimensionnement retenus :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- couple thermique équivalent pour un actionneur électrique ;</li> <li>- durée de vie L90 pour les roulements ;</li> <li>- critères p, V et p·V pour les contacts directs ;</li> <li>- limites élastiques, rigidité et déformation pour les pièces ;</li> <li>- jeu fonctionnel pour un assemblage, chaîne de cotes unidirectionnelles.</li> </ul>	<p>Dimensionner une solution technique.</p>		<p><b>S3</b></p>
<p><i>Commentaires</i>  <i>Seuls les cinq critères de dimensionnement proposés doivent être connus. Le dimensionnement d'autres solutions techniques pourra être étudié à partir de documents ressources fournis.</i></p>			

## F – Réaliser

<p>Les solutions techniques étant définies :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- définir et choisir les procédés de réalisation ;</li> <li>- réaliser tout ou partie d'un prototype.</li> </ul>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
<p><b>Procédés d'obtention des pièces brutes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incidence des principaux modes d'obtention des pièces brutes sur la conception des pièces : procédés de fonderie, injection plastique, procédés par déformation, métallurgie des poudres, soudage. Domaines respectifs d'application.</li> </ul> <p><b>Procédés d'obtention des surfaces par enlèvement de matière</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Techniques principales d'obtention des surfaces des pièces usinées (principe de génération et cinématique). Domaines respectifs d'application.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Évaluer la capacité des procédés cités à réaliser une pièce (fonderie, injection, pliage, soudage) ;</li> <li>- Lire et justifier les étapes de réalisation d'une pièce brute à la pièce finie ;</li> <li>- Choisir ou justifier une cinématique de machine pour la réalisation d'un groupe de surfaces.</li> </ul>	<b>S2</b>	
<p><i>Commentaires</i>            On se limitera à une description des procédés et des matériaux associés en s'appuyant sur :            - les phénomènes physiques associés aux procédés ;            - les contraintes technologiques et économiques ;            - l'influence du procédé sur la géométrie des pièces.            On se limitera aux procédés de mise en forme des matériaux métalliques et plastiques.            On se limitera aux procédés d'usinage et de rectification.            Pour les moyens d'usinage, on mettra en évidence la classification des machines à commande numérique : tours 2 et 3 axes, centre d'usinage 3, 4 et 5 axes.</p>			
<p><b>Mise en place d'un processus de fabrication</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identification des différents états de transformation d'une pièce mécanique ;</li> <li>• Ordonnancement des différentes étapes de transformations (les différentes phases), en fonction de l'interaction entre la pièce, le matériau, les procédés et les moyens de production utilisés.</li> </ul>	<p>Définir l'ordonnancement des différentes phases.</p>		<b>S3</b>
<p><i>Commentaires</i>            La définition détaillée des phases de fabrication n'est pas au programme.            Les procédés étudiés se limitent aux procédés détaillés dans le programme.</p>			

<b>Traitements thermiques des aciers</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Principes physiques, matériaux associés et caractéristiques mécaniques modifiées par les traitements volumiques (trempe, revenu, recuit) et surfaciques (trempe, cémentation, nitruration).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>À partir de documents ressources, proposer un traitement thermique en fonction d'un cahier des charges de pièce ;</li> <li>Justifier le positionnement d'un traitement thermique dans un processus de réalisation de pièce.</li> </ul>		<b>S4</b>
<p><i>Commentaires</i>  <i>L'étude des phénomènes métallurgiques est exclue.</i>  <i>On se limitera à l'aspect fonctionnel des traitements thermiques des aciers.</i></p>			
<b>Mesure et contrôle dimensionnels et géométriques des pièces</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nuages de points ;</li> <li>Méthodes d'association ;</li> <li>Traitement des résultats.</li> </ul>	<p>À partir du dessin de définition d'une pièce, vérifier une spécification dimensionnelle ou géométrique.</p>		<b>S4</b>
<p><i>Commentaires</i>  <i>Le traitement des mesures est développé à l'aide d'un solveur ou d'un logiciel spécifique.</i>  <i>La métrologie tridimensionnelle se limite aux géométries suivantes : plan, cercle et droite, cylindre de révolution.</i></p>			
<b>Réalisation d'un prototype</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réaliser tout ou partie d'un prototype ;</li> <li>Valider l'architecture fonctionnelle et structurelle ;</li> <li>Valider les choix des composants vis-à-vis des performances attendues.</li> </ul>		<b>S4</b>
<p><i>Commentaires</i>  <i>On utilisera les moyens de réalisation de l'établissement (par exemple les machines à commande numérique) en appui sur la chaîne numérique.</i>  <i>L'acquisition de savoir-faire professionnels est exclue.</i>  <i>On se limitera à :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>réaliser une pièce prototype ;</i></li> <li><i>implanter (alimenter, paramétrer) une carte de commande dans son environnement matériel ;</i></li> <li><i>programmer à partir d'outils graphiques.</i></li> </ul> <p><i>Les langages de programmation ne donnent pas lieu à évaluation.</i></p>			

## G – Communiquer

### G1 - Élaborer, rechercher et traiter des informations

Élaborer, rechercher, choisir et synthétiser les éléments nécessaires à une communication.

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
<b>Différents descripteurs introduits dans le programme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produire des documents techniques adaptés à une communication (interne et externe) ;</li> <li>- Décoder une représentation normalisée 2D ;</li> <li>- Élaborer et utiliser des outils de représentation (dessin et schéma 2D et 3D).</li> </ul>	<b>S2</b>	
<p><i>Commentaires</i>            Les représentations effectuées « à la main », devront traduire, sans ambiguïté, les intentions de conception sans se focaliser sur les détails de tracé. La représentation normalisée des éléments standard ne peut être exigée.</p>			
<b>Schémas cinématique, d'architecture, technologique, électrique, hydraulique et pneumatique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extraire les informations utiles d'un dossier technique ;</li> <li>- Effectuer une synthèse des informations disponibles dans un dossier technique ;</li> <li>- Vérifier la nature des informations ;</li> <li>- Trier les informations selon des critères ;</li> <li>- Distinguer les différents types de documents en fonction de leurs usages ;</li> <li>- Lire et décoder un schéma.</li> </ul>		<b>S4</b>
<p><i>Commentaires</i>            Les normes de représentation des schémas sont fournies.</p>			
<b>Représentation fonctionnelle et structurelle des systèmes multi-physiques</b>	Représenter une solution pour visualiser les conditions fonctionnelles.		<b>S3</b>

## G2 - Mettre en œuvre une communication

Présenter et expliquer :

- les enjeux techniques et culturels d'un produit ;
- une situation de contradiction technique à résoudre ou résolue ;
- la démarche de conception-réalisation d'un système ;
- des protocoles d'expérimentation et de validation associés.

Connaissances	Savoir-faire	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année
<b>Outils de communication</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Choisir les outils de communication adaptés à l'interlocuteur ;</li><li>- Présenter les étapes de son travail ;</li><li>- Présenter de manière argumentée une synthèse des résultats.</li></ul>	<b>S2</b>	
<b>Langage technique</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Choisir l'outil de description adapté à l'objectif de la communication ;</li><li>- Décrire le fonctionnement du système en utilisant un vocabulaire adéquat.</li></ul>		<b>S4</b>