

# PROGRAMME DE SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGENIEUR DANS LA FILIÈRE TSI

## 1. OBJECTIFS DE FORMATION

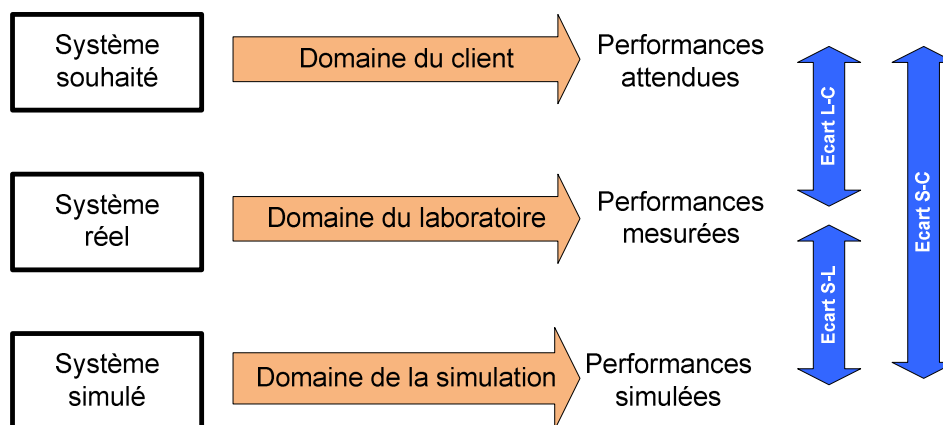
### 1.1. Finalités

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

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

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

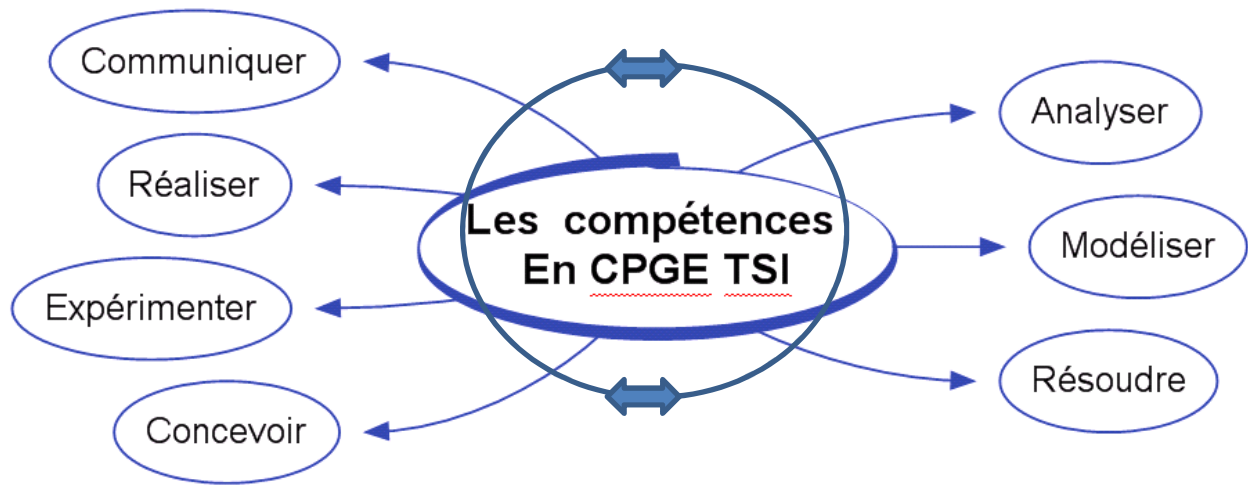
- de conduire l'analyse fonctionnelle, structurelle et comportementale d'un système pluritechnologique ;
- de vérifier les performances attendues d'un système, par l'évaluation de l'écart entre un cahier des charges et des réponses expérimentales ;
- de proposer et de valider des modèles d'un système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



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

## 1.1. Objectifs généraux

À partir de supports industriels pluri-technologiques placés dans leur environnement technico-économique, les étudiants devront développer les compétences représentées sur la carte heuristique suivante, associées à des connaissances et savoirs faire. Ces compétences sont définies dans les paragraphes suivants.



Les compétences développées en sciences industrielles de 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 lui permettent d'être sensibilisé aux travaux de recherche, de développement et d'innovation.

*Analyser* est la compétence qui 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 facilite l'appropriation de tout système nouveau. Cette approche permet de fédérer et assimiler les connaissances présentées dans l'ensemble des disciplines scientifiques des classes préparatoires aux grandes écoles.

*Modéliser* est la compétence qui 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* est la compétence grâce à laquelle l'étudiant est en mesure d'indiquer la démarche permettant d'atteindre un résultat de manière optimale, à savoir de manière analytique ou par simulation numérique. Elle lui permet d'envisager la complexité des systèmes analysés sans être soumis à la maîtrise d'un outil mathématique spécifique. L'outil de simulation numérique est privilégié.

*Expérimenter* est la compétence qui permet à l'étudiant de s'approprier le comportement des systèmes, d'en mesurer et modifier les performances. Les activités expérimentales sont organisées autour de produits industriels instrumentés ou de systèmes didactisés utilisant des solutions innovantes. Les activités expérimentales sont au cœur de la formation. Elles permettent d'appréhender la complexité de la réalité industrielle, d'acquérir une culture des solutions industrielles, de formuler des hypothèses pour modéliser le réel et en apprécier leurs limites de validité, de développer le sens de l'observation, le goût du concret et la prise d'initiative.

*Concevoir* est la compétence qui permet à l'étudiant d'imaginer un produit conforme aux exigences d'un cahier des charges en fonction de la connaissance et du respect de l'outil de production. Les modalités pédagogiques spécifiques liées à la résolution de problèmes et à la recherche documentaire sont mises en œuvre.

*Communiquer* est la compétence qui permet de décrire, avec les outils de la communication technique et l'expression technologique adéquate, le fonctionnement, la structure et le comportement des systèmes.

*Réaliser* est la compétence qui permet à l'étudiant des réalisations partielles à l'aide d'un prototypage rapide et d'effectuer certains contrôles de conformité au travers d'expérimentations.

## **2. Programme**

### **2.1. Organisation de la formation**

L'enseignement de sciences industrielles de l'ingénieur dans la filière TSI est centré sur des activités expérimentales et de résolution de problème ayant pour support les systèmes présents dans les laboratoires.

Ces activités expérimentales sont proposées en groupe de quinze élèves au maximum.

La formation est organisée en quatre semestres. Le premier semestre est une période d'adaptation qui permet d'assurer un continuum de l'enseignement du tronc commun aux étudiants titulaires d'un baccalauréat STI2D et STL.

### **2.2. Présentation**

La diversité des outils existants pour décrire les systèmes pluritechnologique rend difficile la communication et la compréhension au sein d'une équipe regroupant des spécialistes de plusieurs disciplines. Il est indispensable d'utiliser des outils compréhensibles par tous et compatibles avec les spécificités de chacun.

Le langage de modélisation SysML (System Modeling Language) s'appuie sur une description graphique des systèmes et permet d'en représenter les constituants, les programmes, les flux d'information et d'énergie.

L'adoption de ce langage en classes préparatoires, associé à un outil de simulation non causal, permet de répondre au besoin de modélisation à travers un langage unique. Il intègre la double approche structurelle et comportementale des systèmes représentatifs du triptyque Matière - Énergie - Information.

Le langage SysML permet de décrire les systèmes selon différents points de vue cohérents afin d'en permettre la compréhension et l'analyse. Les diagrammes SysML remplacent les outils de description fonctionnelle et comportementale auparavant utilisés et qui ne sont plus au programme.

Les diagrammes SysML sont présentés à la lecture. Certains diagrammes pourront être modifiés ou complétés mais la syntaxe du langage SysML doit être fournie.

L'écriture du programme en compétences permet de structurer les savoirs et de développer ainsi chez l'élève l'esprit critique, la prise d'initiative et la créativité indispensables à un ingénieur.

Les compétences retenues sont :

- **Analyser**
  - Identifier le besoin et appréhender les problématiques
  - Définir les frontières de l'analyse
  - Appréhender les analyses fonctionnelle et structurelle
  - Caractériser des écarts

- Apprécier la pertinence et la validité des résultats
- **Modéliser**
  - Identifier et caractériser les grandeurs physiques
  - Proposer un modèle de connaissance et de comportement
  - Valider un modèle
- **Résoudre**
  - Proposer une démarche de résolution
  - Procéder à la mise en œuvre d'une démarche de résolution analytique
  - Procéder à la mise en œuvre d'une démarche de résolution numérique
- **Expérimenter**
  - Découvrir le fonctionnement d'un système pluri-technologique
  - Proposer et justifier un protocole expérimental
  - Mettre en œuvre un protocole expérimental
- **Concevoir**
  - Imaginer des architectures ou des solutions technologiques
  - Choisir une solution technologique
  - Dimensionner une solution technique
- **Réaliser**
  - Réaliser et valider un prototype ou une maquette
  - Intégrer des constituants dans un prototype ou une maquette
- **Communiquer**
  - Rechercher et traiter des informations
  - Choisir les contenus et l'outil de description adapté
  - Afficher et communiquer des résultats

Les tableaux liés aux compétences n'ont, en aucune manière, pour objet de définir une progression pédagogique. Les savoirs associés sont répartis selon une progression organisée en quatre semestres indiqués dans l'annexe (colonnes de droite).

Lorsqu'une connaissance et le(s) savoir-faire associé(s) sont positionnés au semestre  $n$ , cela signifie :

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

## 2.2. Contenu

### A – Analyser

#### A1 Identifier le besoin et appréhender les problématiques

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires
S11 Analyse fonctionnelle	Décrire le besoin Présenter la fonction globale Identifier les domaines d'application, les critères technico-économiques Identifier les contraintes Qualifier et quantifier les exigences (critères, niveaux). Identifier et caractériser les fonctions de service	Les diagrammes SysML sont présentés à la lecture. Certains diagrammes peuvent être modifiés ou complétés mais la syntaxe du langage SysML doit être fournie.

S12 Impact environnemental	Évaluer l'impact environnemental (matériaux, énergie, nuisances) Établir une analyse du cycle de vie (ACV) et analyser les résultats Effectuer un bilan carbone	On met en évidence ces notions par l'intermédiaire d'un outil numérique adapté.
----------------------------	---	---

## A2 Définir les frontières de l'analyse

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires
S12 Impact environnemental	Définir les éléments influents du milieu extérieur Identifier les contraintes	
S11 Analyse fonctionnelle S13 Analyse structurelle	Isoler un système et justifier l'isolement Définir les limites et les contraintes choisies ou imposées	

## A3 Appréhender les analyses fonctionnelle et structurelle

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires
S11 Analyse fonctionnelle S13 Analyse structurelle	Identifier les fonctions techniques Déterminer les constituants dédiés aux fonctions d'un système et en justifier le choix Identifier les architectures fonctionnelle et structurelle	Les diagrammes SysML sont présentés à la lecture. Certains diagrammes peuvent être modifiés ou complétés mais la syntaxe du langage SysML doit être fournie.
S432 Systèmes asservis multi-physiques	Identifier la structure d'un système asservi : chaîne directe, capteur, commande (fonction différence, correction) Identifier et positionner les perturbations Différencier régulation et asservissement	Il faut insister sur la justification de l'asservissement par la présence de perturbations et de critères de rapidité et de précision.
S13 Analyse structurelle	Identifier la nature des flux échangés (Matière, Énergie, Information) traversant la frontière d'étude Préciser leurs caractéristiques (variable potentielle, variable flux)	Variables potentielles (vitesse, vitesse angulaire, tension, température, ...) et variables de flux (force, couple, courant, débit, flux thermique, ...).
	Identifier et décrire les chaînes d'information et d'énergie d'un système Identifier les constituants réalisant les fonctions : acquérir, traiter, communiquer, alimenter, distribuer, moduler, convertir, transmettre et agir. Identifier la nature et les caractéristiques des flux échangés Vérifier l'homogénéité et la compatibilité des flux entre les différents constituants	Cette description permet de construire une culture de solutions technologiques.
S2 Chaîne d'énergie S3 Chaîne d'information	Identifier les liens entre chaîne d'énergie et chaîne d'information Analyser l'effet de la commande sur le comportement de la chaîne d'énergie	La qualité de l'énergie est analysée en rapport avec la commande utilisée.
S4312 Comportement des systèmes logiques	Analyser le comportement d'un système décrit par un graphe d'état ou un logigramme	
S4313 Comportement des systèmes numériques	Analyser et interpréter un algorithme représenté sous forme graphique	La présentation graphique permet de s'affranchir d'un langage de programmation spécifique.
S313 Transmission de l'information	Identifier les architectures matérielles et fonctionnelles d'un réseau de communication Déterminer le mode de transmission Décoder une trame en vue d'analyser	

	les différents champs	
S42 solide déformable	Identifier les contraintes, les déformations et les sollicitations d'un solide	
S422 Caractéristiques des matériaux	Identifier les familles des matériaux et analyser le choix des matériaux vis-à-vis des performances attendues	
S311 Capteurs et détecteurs	Identifier et caractériser un capteur	Les solutions techniques retenues sont les capteurs de position, de déplacement, de vitesse, d'accélération, d'effort, de pression, de débit et de température.
S62 Réalisation	Analyser une spécification indiquée sur un dessin de définition par rapport aux contraintes de montage et de réalisation	Les spécifications sont définies par la norme ISO.

#### A4 Caractériser des écarts

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires
	Exploiter et interpréter les résultats d'un calcul ou d'une simulation (analyse de la modélisation proposée et des résultats obtenus) Traiter des données de mesures et de simulations et extraire les caractéristiques statistiques Extraire du cahier des charges les grandeurs pertinentes	On insiste sur le choix des résultats de simulation et des réponses expérimentales.
	Quantifier des écarts entre des valeurs attendues et des valeurs mesurées Quantifier des écarts entre des valeurs attendues et des valeurs obtenues par simulation Quantifier des écarts entre des valeurs mesurées et des valeurs obtenues par simulation	
S13 Analyse structurelle S4 Comportement des systèmes	Rechercher et proposer des causes aux écarts constatés Vérifier la cohérence du modèle choisi avec des résultats d'expérimentation	

#### A5 Apprécier la pertinence et la validité des résultats

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires
S4 Comportement des systèmes	Prévoir l'ordre de grandeur et l'évolution de la mesure ou de la simulation Critiquer les résultats issus d'une mesure ou d'une simulation Identifier des valeurs erronées Analyser la pertinence du choix des grandeurs simulées	
	Valider ou affirmer une hypothèse	
S6 Protocoles expérimentaux et réalisation	Exploiter et interpréter des résultats de mesure ou de simulation Utiliser des symboles et des unités adéquates Vérifier l'homogénéité des résultats	



## B – Modéliser

### B1 Identifier et caractériser les grandeurs physiques agissant sur un système

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires
S13 Analyse structurelle S4 Comportement des systèmes	Qualifier les grandeurs d'entrée et de sortie d'un système isolé	Le point de vue de l'étude conditionne le choix de la grandeur potentielle ou de la grandeur de flux à utiliser.
S13 Analyse structurelle S51 Représentation des signaux	Décrire les évolutions temporelles ou fréquentielles des grandeurs dans les chaînes d'énergie et d'information	
S2 Chaîne d'énergie	Associer les grandeurs physiques aux échanges d'énergie et à la transmission de puissance Identifier les pertes d'énergie dans un convertisseur statique d'énergie, dans un actionneur ou dans une liaison	La puissance est toujours égale au produit d'une grandeur potentielle (vitesse, vitesse angulaire, tension, température, ...) par une grandeur de flux (force, couple, courant, débit, flux thermique, ...).
S3 Chaîne d'information	Identifier la nature de l'information et la nature du signal	
S13 Analyse structurelle	Identifier les phénomènes dominants Proposer des hypothèses simplificatrices en vue de la modélisation	On vérifiera l'adéquation des hypothèses avec les objectifs à atteindre.

### B2 Proposer un modèle de connaissance et de comportement

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires
S2 Chaîne d'énergie	Associer un modèle aux constituants d'une chaîne d'énergie	
S22 Distribuer et moduler l'énergie S23 Convertir l'énergie	Modéliser l'association convertisseur statique-machine	On insiste sur l'obligation d'une commande en couple d'un actionneur électromécanique.
S241 Liaisons mécaniques S411 Détermination des lois de mouvements	Proposer et justifier un modèle de liaison entre deux solides Associer aux liaisons un torseur d'action mécanique transmissible et un torseur cinématique. Déterminer la liaison cinématiquement équivalente à un ensemble de liaisons	Le modèle de liaison est déterminé soit à partir des surfaces fonctionnelles, soit à partir des mobilités. La détermination d'une liaison équivalente se limite à deux liaisons en série ou parallèle. On ne donne que les éléments essentiels de la théorie des torseurs : opérations, invariants, axe central, couple et glisseur.
S411 Lois de mouvement	Paramétrer les mouvements d'un solide indéformable	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.
S52 Schématisation des solutions	Réaliser le graphe de structure de tout ou partie d'un mécanisme Proposer un schéma cinématique (plan ou 3D) minimal et d'architecture de tout ou partie d'un mécanisme	
S412 Actions mécaniques S4121 Approche statique	Réaliser l'inventaire des actions mécaniques extérieures s'exerçant sur un solide ou un ensemble de solides	
S41 Solide indéformable S42 Solide déformable	Choisir un modèle de solide (indéformable ou déformable) en fonction de l'objectif visé.	
S4122 Approche dynamique	Déterminer les caractéristiques d'un solide indéformable (masse, centre d'inertie, matrice d'inertie)	Ces caractéristiques sont déterminées à l'aide d'un modèleur volumique. Les calculs des éléments d'inertie ne

		donnent pas lieu à évaluation. La relation entre la forme de la matrice d'inertie et la géométrie de la pièce est exigible.
S4121 Approche statique	Associer un modèle à une action mécanique Ecrire la relation entre modèle local et modèle global dans le cas d'actions réparties.	Les résistances au roulement et au pivotement ne sont pas au programme.
S421 Comportement du solide déformable	Déterminer le torseur de cohésion dans un solide Associer un modèle de contraintes à l'état de sollicitation	On se limite aux modèles des poutres unidirectionnelles, et les sollicitations sont limitées à la flexion, la torsion et à la traction-compression. Seules les sollicitations simples sont au programme.
S421 Comportement du solide déformable	Proposer ou justifier des conditions aux limites dans un logiciel de simulation par éléments finis	
S22 Distribuer et moduler l'énergie	Adapter la typologie d'un convertisseur statique à la nature des sources	On se limite à la modélisation d'une cellule de commutation et à la conversion directe. On se limite aux convertisseurs non isolés.
S432 Systèmes asservis multi-physiques	Établir le schéma bloc du système	
S4322 Représentation et identification d'un système asservi	Déterminer les fonctions de transfert à partir d'équations physiques (modèle de connaissance) Déterminer les fonctions de transfert en boucle ouverte et boucle fermée.	On se limite aux notions de dérivation et d'intégration de la transformée de Laplace.
S4321 Modélisation d'un système asservi multi-physique S4325 Systèmes non linéaires	Linéariser un modèle autour d'un point de fonctionnement	
S4322 Représentation et identification d'un système asservi	Identifier les paramètres caractéristiques d'un modèle du premier ou du second ordre à partir de sa réponse indicielle	Les abaques nécessaires à l'identification sont fournis pour le modèle du second ordre.
S4321 Modélisation d'un système asservi multi-physique S4322 Représentation et identification d'un système asservi	Identifier les paramètres d'un modèle de comportement à partir d'un diagramme de Bode Associer un modèle de comportement (premier et second ordre, dérivateur, intégrateur) à partir d'un diagramme de Bode	D'un point de vue fréquentiel, seul le diagramme de Bode est développé pour l'identification d'un modèle de comportement.
S4321 Modélisation d'un système asservi multi-physique	Définir les paramètres du modèle Utiliser un diagramme paramétrique	Des modules de simulation et de calcul de type non causal sont à privilégier.

### B3 Valider un modèle

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires
S4321 Modélisation d'un système asservi multi-physique	Vérifier la cohérence du modèle choisi avec les résultats d'expérimentation	On met l'accent sur les approximations faites, leur cohérence et domaine de validité par rapport aux objectifs.
S4322 Représentation et identification d'un système asservi	Réduire l'ordre de la fonction de transfert selon l'objectif visé, à partir des pôles dominants qui déterminent la dynamique asymptotique du système	
S4321 Modélisation d'un système asservi multi-physique	Modifier les paramètres et enrichir le modèle pour minimiser l'écart entre les résultats simulés et les réponses	



	mesurées	
S4325 Systèmes non linéaires	Donner les limites de validité d'un modèle	L'étude des systèmes non linéaires n'est pas au programme. Les activités de simulation et d'expérimentation doivent être l'occasion de mettre en évidence les limites des modèles linéaires (présence de saturation, d'hystérésis, de retard, ...).

## C – Résoudre

### C1 Choisir une démarche de résolution

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires
S432 Systèmes asservis multi-physiques	Proposer une démarche permettant de prévoir les performances d'un système asservi	
S4324 Contrôle et commande d'un système asservi	Proposer une démarche de réglage d'un correcteur proportionnel	
S411 Lois de mouvement	Proposer une démarche permettant de déterminer une loi de mouvement	
S412 Actions mécaniques	Proposer une méthode permettant la détermination des inconnues de liaison Proposer une méthode permettant la détermination des paramètres conduisant à des positions d'équilibre	
S21 Alimenter en énergie S221 Moduler l'énergie S23 Convertir l'énergie	Proposer une méthode de résolution permettant la détermination des courants, des tensions, des puissances échangées, des énergies transmises ou stockées	

### C2 Procéder à la mise en œuvre d'une démarche de résolution analytique

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires
S432 Systèmes asservis multi-physiques S51 Représentation des signaux	Prévoir les réponses temporelles des systèmes linéaires du premier et second ordre Prévoir les réponses fréquentielles des systèmes linéaires	
S4323 Performances d'un système asservi	Caractériser la stabilité d'un système du premier et du second ordre Justifier le choix d'un correcteur vis-à-vis des performances attendues	On insiste sur le fait qu'un système perturbé conserve la même équation caractéristique dans le cas de perturbation additive.
S4324 Contrôle et commande d'un système asservi S51 Représentation des signaux	Déterminer des paramètres permettant d'assurer la stabilité, en s'appuyant sur les tracés fréquentiels dans le plan de Bode Déterminer l'erreur en régime permanent vis-à-vis d'une entrée en échelon ou en rampe (consigne ou perturbation)	Les diagrammes de Black et de Nyquist ne sont pas au programme. Il faut attirer l'attention des étudiants sur la nécessité de comparer des grandeurs homogènes, par exemple la nécessité d'adapter la sortie et sa consigne. Les théorèmes de la valeur finale et initiale sont donnés sans démonstration.
S4323 Performances d'un système asservi	Prévoir les performances de rapidité et de précision d'un système linéaire continu et invariant	On insiste sur la dualité temps / fréquence.
S411 Lois de mouvement	Déterminer la loi entrée-sortie d'une chaîne cinématique simple	Pour la dérivée d'un vecteur, on insiste sur la différence entre référentiel

	<p>Déterminer la trajectoire d'un point d'un solide par rapport à un autre</p> <p>Déterminer le vecteur vitesse d'un point d'un solide par rapport à un autre</p> <p>Déterminer le vecteur accélération d'un point d'un solide par rapport à un autre</p> <p>Déterminer les relations de fermeture géométrique et cinématique d'une chaîne cinématique, et résoudre le système associé</p> <p>Déterminer le degré de mobilité et d'hyperstatisme</p>	<p>d'observation et base d'expression du résultat.</p> <p>Les méthodes graphiques peuvent être utilisées mais leur maîtrise n'est pas exigée.</p>
S412 Actions mécaniques	<p>Déterminer les inconnues de liaison</p> <p>Déterminer les paramètres conduisant à des positions d'équilibre</p>	<p>L'étude des conditions d'équilibre pour les mécanismes qui présentent des mobilités constitue une première sensibilisation au problème de recherche des équations de mouvement étudié en seconde année.</p> <p>Les méthodes graphiques peuvent être utilisées mais leur maîtrise n'est pas exigée.</p>
S412 Actions mécaniques	<p>Déterminer les inconnues de liaison ou les efforts extérieurs spécifiés dans le cas où le mouvement est imposé</p> <p>Ecrire le torseur dynamique d'un solide en mouvement au centre de masse ou en un point fixe du solide dans un référentiel galiléen.</p>	<p>Le modèle est isostatique.</p> <p>La résolution de ces équations différentielles peut être conduite indirectement par des logiciels adaptés.</p> <p>L'accent est alors mis sur la modélisation, l'acquisition correcte des données et sur l'exploitation des résultats.</p>
S411 Lois de mouvement S412 Actions mécaniques	<p>Donner la loi du mouvement sous forme d'équations différentielles dans le cas où les efforts extérieurs sont connus</p> <p>Exprimer l'énergie cinétique d'un solide dans un référentiel galiléen</p> <p>Exprimer les puissances extérieures et des inter-efforts</p> <p>Exprimer le théorème de l'énergie-puissance appliqué à tout ou partie des éléments de la chaîne d'énergie</p>	<p>On définit précisément la nature des grandeurs extérieures (variables potentielles, variables flux) dans le calcul des puissances. On ne se limite pas à l'utilisation du théorème de l'énergie – puissance sur un solide ou un ensemble de solides. Celui-ci peut être appliqué à tout ou partie de la chaîne d'énergie.</p>
S211 Alimenter en énergie S231 Actionneurs et pré-actionneurs incluant leurs commandes	<p>Construire graphiquement les lois de l'électricité à partir des vecteurs de Fresnel</p>	<p>On insiste sur l'utilisation des vecteurs de Fresnel pour la modélisation des sources alternatives sinusoïdales et des machines électriques synchrones et asynchrones.</p>
S22 Distribuer et moduler l'énergie	<p>Déterminer les pertes en conduction dans un interrupteur statique</p> <p>Dimensionner un dissipateur thermique</p>	<p>Les pertes en commutation ne font pas l'objet de calculs.</p>
S42 Solide déformable	<p>Déterminer la répartition des contraintes dans une section droite</p> <p>Vérifier la résistance mécanique d'une poutre droite</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>On se limite aux sollicitations suivantes : flexion, traction-compression et torsion non combinées.</p>
S21 Alimenter en énergie et stocker l'énergie S22 Distribuer et moduler l'énergie	<p>Déterminer les courants et les tensions dans les composants</p> <p>Déterminer les puissances échangées</p> <p>Déterminer les énergies transmises ou stockées</p>	<p>On insiste sur les formes d'ondes et la qualité de l'énergie.</p>

S23 Convertir l'énergie	Déterminer les caractéristiques mécaniques de l'actionneur Déterminer le point de fonctionnement	
-------------------------	---	--

### C3 Procéder à la mise en œuvre d'une démarche de résolution numérique

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires
	Choisir une méthode d'intégration adaptée au modèle à simuler Choisir une durée de simulation adaptée au comportement à observer	On se limite à la comparaison entre les méthodes à pas fixe et les méthodes à pas variable.
S13 Analyse structurelle	Utiliser le diagramme paramétrique pour renseigner un modèle	
	Choisir et justifier le choix des grandeurs simulées Qualifier l'influence d'un paramètre sur les performances simulées	Le choix des grandeurs analysées doit être en lien avec le choix des performances à vérifier.
S4222 Approche produits-matériaux-procédés	Mettre en place des simulations d'obtention de pièces brutes par fonderie, injection plastique, forgeage, emboutissage, et de pièces finies par enlèvement de matière	On insiste sur le lien entre les dimensions géométriques des pièces et le choix du procédé. La mise en œuvre de ces simulations est faite avec des outils logiciels adaptés. On ne fait pas un cours spécifique sur les procédés d'obtention mais ces notions sont introduites lors d'études de cas.

## D – Expérimenter

### D1 Découvrir le fonctionnement d'un système pluritechnologique

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires
S61 Protocoles expérimentaux	Mettre en œuvre un système dans le respect des règles de sécurité	
S2 Chaîne d'énergie S3 Chaîne d'information S13 Analyse structurelle	Identifier les constituants réalisant les fonctions élémentaires de la chaîne d'énergie et d'information Repérer les flux d'entrée et de sortie de chaque constituant, leurs natures (électrique, mécanique, pneumatique, thermique ou hydraulique) et leurs sens de transfert	

### D2 Proposer et justifier un protocole expérimental

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires
S51 Représentation des signaux	Prévoir l'allure de la réponse attendue Prévoir l'ordre de grandeur de la mesure	
S61 Protocoles expérimentaux	Choisir les configurations matérielles du système en fonction de l'objectif visé Justifier le choix de la grandeur physique à mesurer Choisir les entrées à imposer pour identifier un modèle de comportement	
S61 Protocoles expérimentaux S13 Analyse structurelle	Choisir les appareillages et les conditions d'exploitation en adéquation avec la législation Proposer et justifier le lieu de prise de	

	mesures vis-à-vis de l'objectif à atteindre	
S311 Capteurs et détecteurs	Qualifier les caractéristiques d'entrée-sortie d'un capteur Justifier le choix d'un capteur ou d'un appareil de mesure vis-à-vis de la grandeur physique à mesurer Justifier les caractéristiques d'un appareil de mesure	
S31 Acquérir, traiter et communiquer l'information	Proposer les paramètres de configuration d'une chaîne d'acquisition (capteurs intelligents, conditionneur, réseaux)	
S4311 Conditionnement du signal	Prévoir la quantification nécessaire à la précision souhaitée Vérifier l'adéquation entre le temps de conversion et la fréquence d'échantillonnage	

### D3 Mettre en œuvre un protocole expérimental

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires
S61 Protocoles expérimentaux	Mettre en œuvre un appareil de mesure adapté à la caractéristique de la grandeur à mesurer	
S31 Acquérir, traiter et communiquer l'information	Paramétrer une chaîne d'acquisition en fonction des caractéristiques des capteurs et des résultats de mesures attendus Paramétrer les constituants d'un réseau local	On insiste sur le lien existant entre la fréquence d'échantillonnage et les résultats attendus.
S51 Représentation des signaux	Choisir une fenêtre d'observation en fonction des résultats attendus	
S61 Protocoles expérimentaux	Régler les paramètres de fonctionnement d'un système	
S2 Chaîne d'énergie S13 Analyse structurelle	Mesurer les grandeurs potentielles et les grandeurs de flux dans les différents constituants d'une chaîne d'énergie	
S4312 Comportement des systèmes logiques S4313 Comportement des systèmes numériques	Générer un programme et l'implanter dans le système cible Réaliser une intégration ou une dérivée sous forme numérique (somme et différence)	L'influence du temps d'échantillonnage est illustrée.
S61 Protocoles expérimentaux	Mettre en œuvre un système complexe en respectant les règles de sécurité Respecter les protocoles expérimentaux	
S312 Traitement de l'information	Effectuer des traitements (filtrage, régression linéaire, méthode des moindres carrés, analyse statistique, ...) à l'aide de logiciels adaptés à partir des données de mesures expérimentales	On insiste sur la caractérisation du signal en vue d'une comparaison avec les résultats d'une simulation ou les spécifications d'un cahier des charges (valeur moyenne, valeur efficace, ...).

## E – Concevoir

### E1 Imaginer des architectures ou des solutions technologiques

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires
S11 Analyse fonctionnelle S13 Analyse structurelle	Proposer une architecture fonctionnelle de tout ou partie d'un système en vue de sa conception Proposer une architecture structurelle	

	de tout ou partie d'un système en vue de sa conception	
S52 Schématisation des solutions S53 Représentation géométrique du réel	Elaborer la maquette numérique de la partie étudiée du produit en intégrant les contraintes fonctionnelles d'assemblage	Seules les notions de base sur les modeleurs volumiques sont abordées. Les outils « 3D » sont privilégiés. Un dessin à main levée peut être le point de départ d'une conception.
S11 Analyse fonctionnelle S4312 Comportement des systèmes logiques S4313 Comportement des systèmes numériques	Proposer des évolutions sous forme fonctionnelle Modifier une programmation à l'aide des outils graphe d'états, logigramme ou algorithme	Utiliser une approche graphique pour la programmation. Le langage VHDL ou VERILOG n'est pas au programme.

## E2 Choisir une solution technologique

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires
S2 Chaîne d'énergie	Choisir un convertisseur en fonction des transferts énergétiques souhaités	
S23 Convertir l'énergie	Choisir un actionneur adapté à la solution constructive	
S4324 Contrôle et commande d'un système asservi	Choisir un correcteur adapté aux performances attendues Discretiser un correcteur analogique	L'amélioration des performances apportée par le correcteur est illustrée. On montre l'influence de la période d'échantillonnage sur les résultats attendus.
S12 Impact environnemental S422 Caractéristiques des matériaux	Choisir un matériau ou une famille de matériau avec des objectifs multicritères	
S2 Chaîne d'énergie S3 Chaîne d'information S12 Impact environnemental	Proposer et hiérarchiser des critères de choix d'une solution technique Choisir et justifier la solution technique retenue	<p>Critères de choix de la solution technique retenue :</p> <p>pour la chaîne d'énergie :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- critère énergétique (rendement, autonomie, réversibilité) ;</li> <li>- rigidité, déformation ;</li> <li>- durée de vie ;</li> <li>- impact environnemental ;</li> </ul> <p>pour la chaîne d'information :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- débit binaire ;</li> <li>- topologie ;</li> <li>- nature des grandeurs d'entrées/sorties.</li> </ul> <p>Une notion économique peut être introduite.</p> <p>Le choix de solutions techniques vis-à-vis d'autres critères peut être étudié à partir de documents ressources fournis.</p>

## E3 Dimensionner une solution technique

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires
S2 Chaîne d'énergie S3 Chaîne d'information	Dimensionner les constituants de la chaîne d'énergie et de la chaîne d'information à partir d'une documentation technique	<p>Dimensionnement sur critères énergétiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- couple (effort) thermique équivalent ;</li> <li>- critère pV.</li> </ul> <p>Dimensionnement sur critère de déformation/contraintes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- flèche maximale ;</li> <li>- coefficient de sécurité.</li> </ul>

		<p>Dimensionnement sur critère de rapidité et de capacité</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- CAN ;</li> <li>- mémoires ;</li> <li>- débit binaire.</li> </ul> <p>Le dimensionnement d'une solution technique vis-à-vis d'autres critères peut être étudié à partir de documents ressources fournis.</p>
--	--	---

## F – Réaliser

### F1 Réaliser et valider un prototype ou une maquette

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires
S62 Réalisation	Réaliser un prototype de tout ou partie d'un système en vue de valider l'architecture fonctionnelle et structurelle	Les solutions de prototypage rapide sont privilégiées (imprimante 3D, cartes de développement).
S4324 Contrôle et commande d'un système asservi	Mettre en place un asservissement à l'aide de constituants numériques	La structure est limitée à deux boucles imbriquées.
S62 Réalisation	Valider les choix des composants vis-à-vis des performances attendues Analyser les facteurs d'échelle et les proportions des grandeurs influentes	
S62 Réalisation	Mesurer des caractéristiques dimensionnelle et géométrique de pièces Définir les méthodes de mesures	L'instrument de mesure est laissé au choix des étudiants

### F2 Intégrer des constituants dans un prototype ou une maquette

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires
S62 Réalisation	Assembler un ou plusieurs constituants pour permettre de répondre à une fonction technique	L'approche constituant est favorisée par rapport à l'approche composant.
S4313 Comportement des systèmes numériques	Mettre en œuvre des composants programmables à l'aide d'un outil graphique de description (graphe d'état, algorithme, ...) en y intégrant les constituants réalisant les interfaces entre les grandeurs d'entrées et de sorties	
S13 Analyse structurelle	Identifier le ou les élément(s) limitant(s) du point de vue des performances globales du prototype	

## G – Communiquer

### G1 Rechercher et traiter des informations

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires
	<p>Extraire les informations utiles d'un dossier technique</p> <p>Effectuer une synthèse des informations disponibles dans un dossier technique</p> <p>Vérifier la nature des informations</p> <p>Définir les critères de tri des</p>	



	informations Trier les informations selon des critères Distinguer les différents types de documents en fonction de leurs usages	
S52 Schématisation des solutions	Lire et interpréter un schéma	Les normes de représentation des schémas sont fournies.
S43 Modélisation des systèmes multi-physiques	Lire et interpréter un diagramme	Les normes de représentation du langage SysML sont fournies la connaissance de la syntaxe n'est pas exigible.

## G2 Choisir les contenus et l'outil de description adapté

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires
	Cibler le contenu de la communication et choisir l'outil de description adapté	On insiste sur la pertinence de la représentation des informations (courbes, tableau, carte heuristique,...). Un dessin à main levée peut constituer un outil de description performant.

## G3 Afficher et communiquer des résultats

Connaissances	Savoir-faire	Commentaires
	Utiliser les outils de communication adaptés à son auditoire	Les outils numériques sont privilégiés.
	Avoir une attitude conforme à l'éthique Respecter son temps de parole Être attentif aux réactions de son auditoire Faire preuve d'écoute et confronter des points de vue	
	Être capable de reformuler un questionnement	
	Synthétiser des informations sous une forme écrite ou orale	

# ANNEXE : Liste des savoirs associés aux compétences

<b>S1</b>		<b>Outils d'analyse</b>
<b>S11</b>		<b>Analyse fonctionnelle</b>
<b>S12</b>		<b>Impact environnemental</b>
<b>S13</b>		<b>Analyse structurelle</b>
<b>S2</b>		<b>Chaîne d'énergie</b>
<b>S21</b>		<b>Alimenter en énergie et stocker l'énergie</b>
<b>S22</b>		<b>Distribuer et moduler l'énergie</b>
	S221	Moduler l'énergie
	S222	Distribuer l'énergie
<b>S23</b>		<b>Convertir l'énergie</b>
	S231	Actionneurs et pré-actionneurs associés incluant leurs commandes
<b>S24</b>		<b>Transmettre l'énergie</b>
	S241	Liaisons mécaniques
	S242	Composants mécaniques de transmission
<b>S3</b>		<b>Chaîne d'information</b>
<b>S31</b>		<b>Acquérir, traiter et communiquer l'information</b>
	S311	Capteurs et détecteurs
	S312	Traitement de l'information
		<i>S3121 Traitement analogique de l'information</i>
		<i>S3122 Systèmes programmables</i>
	S313	Transport et transmission de l'information
		<i>S3131 Conditionnement du signal</i>
		<i>S3132 Modes de transmission</i>
		<i>S3133 Réseaux</i>
<b>S4</b>		<b>Comportement des systèmes</b>
<b>S41</b>		<b>Solide indéformable</b>
	S411	Lois de mouvement
	S412	Actions mécaniques
		<i>S4121 Approche statique</i>
		<i>S4122 Approche dynamique</i>
		<i>S4123 Approche énergétique</i>
<b>S42</b>		<b>Solide déformable</b>
	S421	Comportement du solide déformable
	S422	Caractéristiques des matériaux
		<i>S4221 Caractéristiques physiques des matériaux</i>
		<i>S4222 Approche produits-matériaux-procédés</i>
<b>S43</b>		<b>Modélisation des systèmes multi-physiques</b>
	S431	Systèmes de commande
		<i>S4311 Conditionnement du signal</i>
		<i>S4312 Comportement des systèmes logiques</i>
		<i>S4313 Comportement des systèmes numériques</i>
	S432	Systèmes asservis multi-physiques
		<i>S4321 Modélisation d'un système asservi multi-physique</i>
		<i>S4322 Représentation et identification d'un système asservi</i>
		<i>S4323 Performances d'un système asservi</i>
		<i>S4324 Contrôle et commande d'un système asservi</i>
		<i>S4325 Systèmes non linéaires</i>
<b>S5</b>		<b>Représentation des produits</b>
<b>S51</b>		<b>Représentation des signaux</b>
<b>S52</b>		<b>Schématisation des solutions</b>
<b>S53</b>		<b>Représentation géométrique du réel</b>
<b>S6</b>		<b>Protocoles expérimentaux et réalisation</b>
<b>S61</b>		<b>Protocoles expérimentaux</b>
<b>S62</b>		<b>Réalisation</b>

<b>S1</b>	<b>Outils d'analyse</b>		
<b>S11</b>	<b>Analyse fonctionnelle</b>		
	Besoin à satisfaire.	1	
	Cycle de vie du produit.	1	
	Expression fonctionnelle du besoin.	1	
	Frontière d'étude.	1	
	Cahier des charges fonctionnel.	1	
	Architecture fonctionnelle.	1	
	Diagramme des exigences.	1	
	Diagramme des cas d'utilisation.	1	
	<b>Commentaires et limitations</b>		
	L'analyse fonctionnelle, outil indispensable à la conception et à la réalisation de produits compétitifs, constitue un moyen de situer une problématique technique et fournit un cadre structurant des connaissances visées par le programme, quel que soit le champ disciplinaire abordé. La sensibilisation aux différents outils est abordée à travers quelques exemples pertinents et par la mise en situation systématique des objets d'études lors des TD ou des TP.		
	Sur un système complexe, l'analyse et la description fonctionnelle doivent être partielles. L'étude se limitera donc à une seule chaîne d'énergie dans le cas d'un système complexe.		
<b>S12</b>	<b>Impact environnemental</b>		
	Frontière de l'étude.	1	
	Contraintes de l'environnement.	1	
	Bilan carbone.	1	
	Analyse du Cycle de Vie (ACV).	1	
	<b>Commentaires et limitations</b>		
	L'analyse du cycle de vie se limite à l'étude d'un produit simple, ou d'une partie d'un système.		
<b>S13</b>	<b>Analyse structurelle</b>		
	Diagramme de blocs, diagramme de blocs internes, diagramme paramétrique.	1	
	Diagramme chaîne d'énergie – chaîne d'information.		
	Architecture structurelle.	1	
	Nature des flux : variables potentielles (tension, vitesse, température) et variables de flux (courant, force ou couple, flux thermique, ...).	1	
	Architecture fonctionnelle des produits et systèmes : chaîne d'énergie, chaîne d'information.	1	
	Relations entre chaîne d'énergie et chaîne d'information : grandeurs physiques à acquérir et ordres de commande.	1	
	Fonctions élémentaires d'une chaîne d'énergie : alimenter, distribuer ou moduler, convertir, transmettre et agir sur la matière d'œuvre.	1	
	Fonctions élémentaires d'une chaîne d'information : acquérir, traiter et communiquer.	1	
	Nature, caractéristiques et flux des éléments transformés par le produit : Matière, Énergie et Information.	1	
	Homogénéité des chaînes fonctionnelles et compatibilité des paramètres d'interface entre les différentes fonctions d'une chaîne.	1	

<b>S2</b>	<b>Chaîne d'énergie</b>		
<b>S21</b>	<b>Alimenter en énergie et stocker l'énergie</b>		
	Sources d'énergies.	2	
	Variables potentielles, variables de flux.	2	
	Grandeurs physiques disponibles.	2	
	Constituants de distribution.	2	
	Sens de transfert de l'énergie, modes de fonctionnement.	2	
	Batteries, super-condensateurs.	2	
	Charges inertielles.		3
	<i>Pour les solutions électriques :</i>		
	- réseaux de distribution monophasé et triphasé équilibré ;	2	
	- réseaux embarqués : piles, panneaux solaires et accumulateurs (différentes technologies et leurs principales applications).	2	
	Adaptation des niveaux de tension et isolement galvanique (transformateur monophasé parfait) :	2	
	<i>Pour les solutions pneumatiques et hydrauliques :</i>		
	- accumulateurs ;		3
	- pompes.		3
<b>Commentaires et limitations</b>			
On se limite à l'identification des caractéristiques fonctionnelles fondamentales en entrée et en sortie en vue d'obtenir les performances attendues.			
On insiste sur la qualité de l'énergie (contenu harmonique, taux de distorsion).			
On insiste sur l'intérêt des super condensateurs dans le stockage et la fourniture d'énergie pour des applications particulières.			

<b>S22</b>	<b>Distribuer et moduler l'énergie</b>		
<b>S221</b>	<b>Moduler l'énergie (convertisseurs statiques d'énergie)</b>		
	Nature et caractéristiques des grandeurs physiques d'entrée et de sortie : continu ou alternatif, source de courant ou tension parfaite.	2	
	Caractéristiques statique et dynamique des interrupteurs.	2	
	Réversibilités (quadrants de fonctionnement).	2	
	Règles d'association des sources parfaites – transformation de la nature d'une source.	2	
	Pertes par conduction.	2	
	Dissipateur thermique.	2	
	<i>Pour les solutions électriques relatives à l'entraînement des machines tournantes :</i>		
	- conversion alternatif – continu	2	
	- conversion continu – continu	2	
	- conversion continu – alternatif		3
<b>Commentaires et limitations</b>			
On limite les études aux convertisseurs statiques directs, non isolés. Les convertisseurs statiques au programme sont les hacheurs série, parallèle et 4 quadrants, l'onduleur de tension et les montages redresseurs PD2 et PD3. Dans le cadre d'une démarche pédagogique, les montages PD2 et PD3 sont abordés à partir des montages P2 et P3.			
Les caractéristiques statiques des interrupteurs sont limitées aux composants à 2 et 3 segments. Les critères de choix se limitent aux grandeurs électriques et aux nombres de segments.			
L'étude de la dissipation se fait en régime permanent.			
On montre l'intérêt de la commande MLI du point de vue de la qualité de l'énergie. Les développements en série de Fourier seront fournis.			
<b>S222</b>	<b>Distribuer l'énergie</b>		
	Nature et caractéristiques des grandeurs physiques d'entrée et de sortie	2	
	<i>Pour les solutions hydrauliques et pneumatiques : distributeurs.</i>		

<b>S23</b>	<b>Convertir l'énergie</b>		
<b>S231</b>	<b>Actionneurs et pré-actionneurs associés incluant leurs commandes</b>		
	Caractéristiques d'entrée et de sortie.	2	
	Modes de fonctionnement, réversibilités (quadrants de fonctionnement).	2	
	Domaines d'application.	2	
	Principe de la conversion électro-mécanique.		
	Bilan de puissance.	2	
	Caractéristiques mécaniques.	2	
	Association convertisseur-machine-charge.	2	
	<i>Pour les solutions techniques électriques :</i>		
	- machine à courant continu à excitation séparée ou à aimant permanent ;	2	

- machine synchrone triphasée ;		3
- machine asynchrone triphasée à cage.		4
Pour les solutions hydrauliques et pneumatiques : vérins, moteurs.		3
<b>Commentaires et limitations</b> Les modèles des actionneurs électriques sont donnés sans justification). Pour la machine à courant continu, le modèle présenté est de type RLE (résistance d'induit R, inductance d'induit L, et force contre électromotrice E). Pour la machine asynchrone triphasée, le modèle étudié est le modèle monophasé composé de l'inductance magnétisante L, de la résistance rotorique ramenée au stator et de l'inductance de fuite rotorique ramenée au stator. Pour la machine synchrone triphasée, le modèle étudié est le modèle monophasé composé de l'inductance cyclique $L_s$ , de la résistance statorique $R_s$ , et de la force contre électromotrice à vide $E_v$ . Pour les actionneurs hydrauliques, le fluide est considéré incompressible.		

## S24 Transmettre l'énergie

### S241 Liaisons mécaniques

Nature des liaisons obtenues.	1	
Surfaces fonctionnelles.	1	
Caractérisation : niveau de qualité, tenue aux efforts et vitesse relative admissible.		4
Pour les solutions techniques (1) :		
- assemblages démontables et permanents ;	2	
- guidages en rotation par glissement et par éléments roulants ;	2	
- guidages en translation par glissement et par éléments roulants.	2	
<b>Commentaires et limitations</b> 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. 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. Les points suivants ne sont pas évaluable : l'étanchéité et la lubrification des guidages. Les calculs de durée de vie des roulements, dans le cas d'une utilisation continue sans variation de la vitesse de rotation, font uniquement l'objet de calculs de vérification à partir de documents constructeur et des formules qui seront données. (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.		

### S242 Composants mécaniques de transmission

Caractérisation cinématique de la transmission : mobilités, loi d'entrée-sortie et réversibilité.	1	
Puissances d'entrée, de sortie et rendement en un point de fonctionnement.		3
Pour les solutions techniques (1) :		
transmissions sans transformation de mouvement :	2	
- sans modification de la fréquence de rotation ;		
- avec modification de la fréquence de rotation ;		
et transmissions avec transformation de mouvement.	2	
<b>Commentaires et limitations</b> 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. (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.		

<b>S3</b>	<b>Chaîne d'information</b>		
<b>S31</b>	<b>Acquérir, traiter et communiquer l'information</b>		
S311	Capteurs et détecteurs		
Place du capteur dans la chaîne d'information.		1	
Fonctions de base et structure fonctionnelle de la chaîne d'acquisition de l'information (principes physiques de l'acquisition de l'information).		1	
Nature des informations d'entrée et de sortie.		1	
Caractéristiques métrologiques : étendue de mesure, sensibilité, résolution, justesse, fidélité, précision et temps de réponse.		2	
Paramètres d'un capteur communicant.		4	
S312	Traitement de l'information		
S3121 <i>Traitement analogique de l'information</i>			
Filtrage (1).		1	
Opérations élémentaires (addition, soustraction, multiplication, saturation) (2).		1	
Conversions A/N et N/A : approche fonctionnelle (3).		1	
S3122 <i>Systèmes programmables</i>			
Structure fonctionnelle des systèmes programmables.		2	
<i>Pour les solutions techniques :</i>			
<i>microcontrôleur, circuit logique programmable</i>		2	
<b>Commentaires et limitations</b>			
(1) L'opération de filtrage se limite ici à une approche par gabarit.			
(2) Les ALI ne sont pas au programme, seule une approche fonctionnelle est utilisée.			
(3) L'étude des conversions analogique-numérique se limite à l'approche fonctionnelle.			
S313	Transport et transmission de l'information		
S3131 <i>Conditionnement du signal</i>			
Caractéristiques principales : bande passante et atténuation.		1	
Modulation et démodulation d'amplitude (1).			4
Modulation de largeur d'impulsion (MLI).		2	
S3132 <i>Modes de transmission</i>			
Modes de transmission série : mise en œuvre d'une transmission série asynchrone (1).			4
Topologie, sens de transfert.			
S3133 <i>Réseaux(2)</i>			
Architecture matérielle et fonctionnelle des réseaux : supports de l'information, topologie, sens de transfert.			4
Caractéristiques d'un canal de transmission.			4
Multiplexage temporel et fréquentiel.			4
Notion de protocole : rôle des champs dans une trame.			
Architecture protocolaire : organisation en couches fonctionnelles.			4
Adressage physique et logique d'un constituant.			4
<i>Pour les solutions techniques : les paires torsadées, les fibres optiques et les liaisons sans fil.</i>			4
<b>Commentaires et limitations</b>			
(1) On se limite à l'approche fonctionnelle sans aborder les aspects technologiques. La modulation et démodulation d'amplitude numérique est réalisée par simulation ou autour de systèmes réels.			
(2) On se limite à une approche qualitative des techniques de multiplexage (temporel et fréquentiel). L'analyse porte sur les caractéristiques principales du support de transmission : bande passante et atténuation. On se limite à la couche application du modèle OSI.			
On se limite aux protocoles de la couche transport (UDP et TCP).			



<b>S4</b>	<b>Comportement des systèmes</b>		
<b>S41</b>	<b>Solide indéformable</b>		
	S411	Lois de mouvement	
		Mouvement d'un solide, trajectoire d'un point d'un solide.	1
		Vecteur position, vecteur vitesse et vecteur accélération.	1
		Torseur cinématique associé à une liaison.	1
		Liaison équivalente à une association de deux liaisons en série ou en parallèle.	1
		Loi d'entrée-sortie en vitesse et en position d'un système.	1
		Degré de mobilité et degré d'hyperstatisme (1).	2
		Conditions géométriques associées à l'hyperstatisme.	2
	<b>Commentaires et limitations</b>		
	(1) Le degré de mobilité et le degré d'hyperstatisme sont nécessaires à l'interprétation des résultats de simulations numériques.		
	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). 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.		
	S412	Actions mécaniques	
		Modélisation des actions mécaniques.	2
		Nature : action mécanique de contact et action mécanique à distance (gravité et magnétique).	2
		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).	2
		Modèle global des actions transmissibles par une liaison parfaite ou non parfaite : torseur associé.	2
	S4121	<i>Approche statique</i>	
		Conditions d'utilisation et application du Principe Fondamental de la Statique.	2
		Théorème des actions réciproques.	2
		Méthodologie : isolement, bilan des actions mécaniques extérieures, application du Principe fondamental de la statique (PFS) et résolution (2).	2
	<b>Commentaires et limitations</b>		
	(1) Les points suivant ne sont pas au programme : la théorie de Hertz ainsi que la résistance au pivotement et au roulement.		
	(2) 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.		
	S4122	<i>Approche dynamique</i>	
		Grandeurs inertielles : centre d'inertie, masse, opérateur d'inertie / matrice associée et théorème de Huygens (1).	3
		Grandeurs cinétiques : torseur cinétique, torseur dynamique et énergie cinétique.	3
		Conditions d'utilisation et application du Principe Fondamental de la Dynamique par rapport à un référentiel galiléen.	3
		Méthodologie : isolement, bilan des actions mécaniques extérieures, application du Principe fondamental de la dynamique (PFD) et résolution.	3
	S4123	<i>Approche énergétique</i>	
		Puissances développées par les actions mécaniques extérieures à l'ensemble isolé dans son mouvement par rapport à un référentiel galiléen.	3
		Puissances développées à l'intérieur de l'ensemble isolé.	3
		Utilisation du théorème de l'énergie cinétique galiléenne.	3
		Notion de pertes de puissance et rendement global en un point de fonctionnement.	3
		Méthodologie : isolement, bilan des puissances, application du théorème de l'énergie cinétique galiléenne et résolution.	3
	<b>Commentaires et limitations</b>		
	(1) La forme de la matrice d'inertie peut être demandée, mais les valeurs des moments et produits d'inertie sont données.		
<b>S42</b>	<b>Solide déformable</b>		
	S421	Comportement du solide déformable	
		Flexion simple, torsion simple, traction-compression.	4
		Sollicitations, contraintes, déformations.	4
		Torseur de cohésion.	4
		Coefficient de sécurité, résistance mécanique.	4

**Commentaires et limitations**

Les sollicitations ne seront pas combinées.

S422      **Caractéristiques des matériaux**

<b>S4221 Caractéristiques physiques des matériaux</b>		
Caractéristiques dans les domaines de l'électricité, du thermique, de l'acoustique et de la mécanique.		3
Matériaux composites.		4
Nano matériaux.		4
Familles des matériaux (1).		3
<b>S4222 Adéquation produits-matériaux-procédés</b>		
Procédés d'obtention des produits (2).	2	
Paramètres influents du procédé : matériaux, géométrie, précision.	2	
Choix d'un matériau en fonction du design du produit.		3
Démarche de choix du couple matériaux-procédé.		4

**Commentaires et limitations**

- (1) Les familles de matériaux retenus sont les métalliques, céramiques, organiques et les composites. Une présentation des propriétés communes à chaque famille est à privilégier.
- (2) 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.

**S43                      Modélisation des systèmes multi-physiques**

S431      **Systèmes de commande**

<b>S4311 Conditionnement du signal</b>		
Filtrage analogique passif : réalisation de filtres passifs (1).	2	
Dualité temps / fréquence (2).	2	
Conversions analogique-numérique et numérique-analogique, caractéristiques : fréquence d'échantillonnage, et résolution (3).	2	
<b>S4312 Comportement des systèmes logiques (4)</b>		
Identification des entrées / sorties.	1	
Notion d'état logique, de fonctions logiques.	1	
Description d'un système logique par une table de vérité (5) ou d'un logigramme.	1	
Description d'un système logique par un graphe d'état (6).	1	
Notions d'état, transitions et variables.	1	
<b>S4313 Comportement des systèmes numériques (7)</b>		
Identification des entrées / sorties.	1	
Adressage des variables.	1	
Boucles.	1	
Transitions conditionnelles.	1	
Fonctions.	1	
Description d'un système numérique par algorithme (8).	1	

**Commentaires et limitations**

- (1) On se limite au filtre RC et RL. Les filtres actifs ne sont pas au programme.
- (2) On insiste sur le lien entre les caractéristiques fréquentielles et temporelles pour le traitement d'un signal.
- (3) Seules les caractéristiques fondamentales sont exposées (nombre de bit, période d'échantillonnage, temps de conversion). Les structures internes des CAN et des CNA sont hors programme. Le théorème de Shannon est donné sans démonstration. Pour les convertisseurs analogique-numérique, la présence d'un filtre anti-repliement est précisée et justifiée sans calcul.
- (4) Les outils de simulations graphiques sont utilisés pour réaliser les fonctions logiques complexes, étant entendu que celles-ci sont intégrées dans des circuits logiques programmables et ne se présentent pas sous forme de composants discrets. Les langages de description tels que le VHDL ou Verilog ne sont pas au programme.
- (5) La simplification des fonctions logiques n'est pas au programme sauf dans des cas évidents.
- (6) Les règles de représentation des graphes sont fournies. L'encapsulation n'est pas au programme. Les bascules et les registres à décalage ne sont pas au programme.
- (7) La gestion des interruptions n'est pas abordée.
- (8) Seules les structures algorithmiques de base sont étudiées. La mise en œuvre de ces structures peut être l'occasion de réaliser des correcteurs numériques avec des intégrations et dérivations numériques.

<b>S4321 Modélisation d'un système asservi multi-physique (1) (2)</b>		
Introduction - aspect généraux.	1	
Buts et motivations, exemples.	1	
Définition et structure d'un système asservi : chaîne directe et chaîne de retour.	1	
Consigne et perturbations.		3
Asservissement - régulation.		3
Définition des performances : stabilité, précision et rapidité.		3
Modélisation et comportement des systèmes linéaires, continus et invariants.		3
Notions de systèmes linéaires continus et invariants.		3
Modélisation par équations différentielles.		3
Représentation par fonction de transfert : forme canonique, gain, ordre et classe.		3
Systèmes du 1 <sup>er</sup> et du 2 <sup>nd</sup> ordre : réponses temporelle (échelon et signal sinusoïdal) et fréquentielle (diagramme de Bode uniquement).		3
<b>S4322 Représentation et identification d'un système asservi</b>		
Systèmes linéaires, continus et invariants.		3
Linéarisation autour d'un point de fonctionnement.		3
Représentation par schémas – blocs.		3
Fonctions de transfert en boucle ouverte et en boucle fermée, influence des perturbations.		3
Représentation dans le plan de Bode (asymptotique et réel) (3).		3
Identification des systèmes linéaires continus et invariants : modélisation et identification paramétrique à l'aide d'une réponse indicielle et/ou d'une réponse harmonique pour les systèmes du 1 <sup>er</sup> et du 2 <sup>nd</sup> ordre.		3
Position des pôles dans le plan complexe.		3
Pôles dominants et réduction du modèle.		3
<b>S4323 Performances d'un système asservi</b>		
Stabilité en BO : position des pôles, marges de phase et de gain dans le plan de Bode (4).		3
Précision : erreur en régime permanent pour une réponse indicielle ou rampe.		3
Effet d'une action intégrale dans la chaîne directe.		3
Rapidité : temps de réponse à 5 %, dépassement et bande passante en boucle ouverte.		3
<b>S4324 Contrôle et commande d'un système asservi (5)</b>		
Correction des systèmes asservis, classe d'une fonction de transfert.		3
Effets sur les performances.		3
Régulateurs P, PI, avance de phase.		3
Discrétisation d'un correcteur (6).		3
<b>S4325 Systèmes non linéaires (7)</b>		
Hystérésis.		3
Saturation.		3
Seuil.		3
Retard.		3
<b>Commentaires et limitations</b>		
(1) L'outil mathématique utilisé est la transformée de LAPLACE. Sa présentation se limite à son énoncé et aux propriétés du calcul symbolique strictement nécessaire à ce cours. Le théorème de la valeur finale est donné sans démonstration. La transformée de Laplace inverse est hors programme.		
(2) Les systèmes multi-physiques sont limités aux domaines de l'électricité, de la mécanique et de la thermique. Une approche par simulation (module non causal) est privilégiée.		
(3) Les représentations dans les plans de Nyquist et de Black sont hors programme.		
(4) La définition de la stabilité est faite au sens : Entrée Bornée, Sortie Bornée (EB/SB) ou en terme de position des pôles. Pour l'étude de la stabilité des systèmes d'ordre 3 notamment, l'usage d'outil informatique est indispensable en vue de déterminer les pôles. Le critère de Routh est hors programme.		
(5) La synthèse complète des correcteurs est hors-programme.		
(6) La transformée en z n'est pas au programme. Les correcteurs numériques sont déterminés par la méthode de la discrétisation de l'équation différentielle d'ordre 2 au maximum.		
(7) L'étude théorique des systèmes non linéaires est hors programme. La mise en évidence des non linéarités est faite lors des activités expérimentales ou au travers de simulations.		

<b>S5</b>	<b>Représentation des produits</b>		
<b>S51</b>	<b>Représentation des signaux</b>		
Représentation logique : binaire et hexadécimale des nombres entiers et nombres réels (positif et négatif, virgule fixe et flottante simple précision). Représentations temporelle (chronogramme) et fréquentielle (spectre), représentation dans le plan complexe.		1	
		2	
<b>Commentaires et limitations</b> Ces notions sont introduites en fonction des besoins pédagogiques et ne font pas l'objet d'un cours spécifique.			

<b>S52</b>	<b>Schématisation des solutions</b>		
Schéma cinématique (1), schéma cinématique minimal, schéma d'architecture (2). Représentation schématique de la structure des chaînes fonctionnelles (mécaniques, électriques, hydrauliques et pneumatiques) : - schémas électriques (3), hydrauliques et pneumatiques ; - graphe de structure ; - schéma informatique : description graphique.		1	
		1	
		1	
		1	
			4
<b>Commentaires et limitations :</b> (1) C'est le schéma minimal qui permet la description des mouvements. (2) Le schéma d'architecture traduit la réalité technique de réalisation des liaisons et permet de calculer les actions mécaniques. (3) Seuls les constituants étudiés dans le programme sont à identifier.			

<b>S53</b>	<b>Représentation géométrique du réel</b>		
Dessin et croquis à main levée d'une solution. Représentation d'une solution constructive en 3D par un modèleur volumique. Assemblage sous contrainte. Cotation GPS, MMT. Utilisation de bibliothèques d'éléments standards.		1	
		1	
		1	
			4
		1	
<b>Commentaires et limitations</b> Seules les notions de bases sur les modèleurs volumiques sont abordées (création d'une pièce simple, assemblage et visualisation d'une maquette numérique). Aucune connaissance affiliée aux normes des dessins techniques n'est évaluable.			

**S6 Protocoles expérimentaux et réalisation****S61 Protocoles expérimentaux**

Environnement du système.	1	
Mise en œuvre d'un système, paramètres de fonctionnement d'un système.	1	
Choix des appareils de mesures (position, calibre, période d'échantillonnage, précision).	1	
Amplitude des grandeurs, caractéristiques fréquentielle et temporelle.	1	
Respect des normes de sécurité, protection des biens et des personnes.	1	
Respect d'un protocole expérimental.	1	

**S62 Réalisation**

Prototypage rapide.		3
Prototype.		3
Facteurs d'échelle, grandeurs influentes.		3
Assemblage des constituants.		3
Programmation des constituants.		3
Mise en œuvre d'un réseau.		3
Caractéristiques dimensionnelle et géométrique de pièces.		3
Méthodes de mesures.		3