

Annexe VI

Objectifs de formation et programme de sciences industrielles de l'ingénieur de la classe préparatoire scientifique d'ATS ingénierie industrielle

1. Objectifs de formation

1.1. Finalité

Le programme de sciences industrielles de l'ingénieur (SII) de la classe préparatoire ATS Ingénierie Industrielle (II) s'inscrit dans un parcours de formation initiale pour accéder au titre d'ingénieur. L'objectif de ce programme est de proposer des contenus d'enseignements qui permettent de développer progressivement les compétences nécessaires à l'intégration dans une grande école et à l'exercice des métiers d'ingénieurs. Ce programme est ambitieux quant au développement de compétences scientifiques et technologiques qui soutiennent l'expertise du futur ingénieur. Il l'est aussi pour le développement de compétences transversales nécessaires pour communiquer, travailler en équipe, exercer un sens critique et des responsabilités de manière éthique et déontologique. En cohérence avec les objectifs du cycle initial de la formation aux métiers de l'ingénierie, ce programme contribue à l'approche pédagogique par les STIM (sciences, technologie, ingénierie et mathématiques).

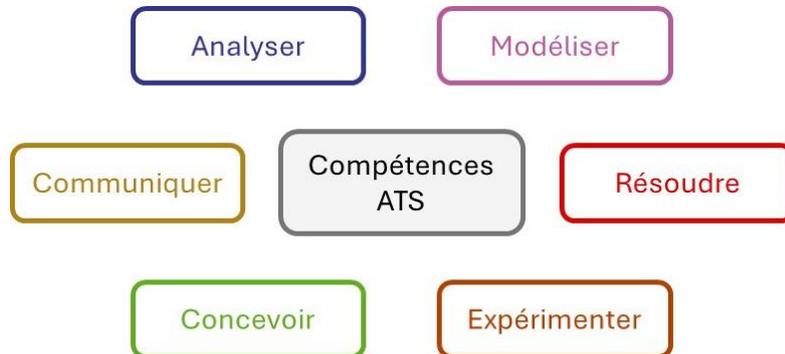
1.2. Objectifs généraux

Les ingénieurs doivent être en capacité de résoudre de façon innovante des problèmes inédits afin de répondre aux besoins des personnes et d'apporter un progrès dans leur qualité de vie. Ils participent aux processus de développement des systèmes à chaque étape de leur cycle de vie, de la caractérisation du besoin jusqu'au recyclage, en respectant les contraintes de développement durable et d'écoconception.

Cette capacité des ingénieurs à proposer des solutions innovantes est plus que jamais indispensable au développement d'une industrie capable de faire face aux grands enjeux sociétaux, économiques et environnementaux. Ces enjeux sont notamment ceux de la transition énergétique, la préservation de la qualité de l'environnement, la progression des technologies du numérique, la mutation des métropoles et des territoires, l'évolution des besoins alimentaires et des exigences en matière de santé pour des humains toujours plus nombreux sur notre planète. Dans un contexte de concurrence mondialisée, la capacité d'innovation des ingénieurs est nécessaire à l'industrie de notre pays qui doit demeurer compétitive et souveraine.

Les objectifs généraux du programme de SII en CPGE ATS II visent à développer les compétences clés dans le large domaine des sciences industrielles de l'ingénieur qui sont nécessaires à l'exercice du métier d'ingénieur. Celles-ci sont consolidées et complétées par la formation poursuivie jusqu'à l'obtention du titre d'ingénieur.

L'enseignement des SII en CPGE ATS II a également pour objectif d'apporter aux étudiants des méthodes et des outils qui leur permettront de s'adapter aux évolutions permanentes des sciences et des technologies et de communiquer avec l'ensemble des acteurs associés à l'exercice des métiers d'ingénieurs et scientifiques.

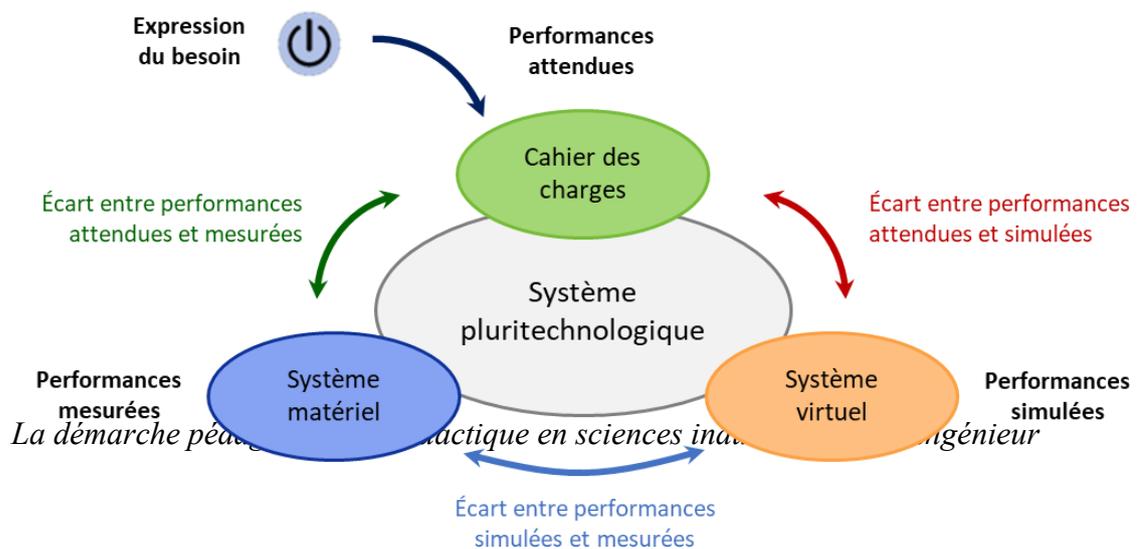


Les compétences générales de l'ingénieur développées en ATS

1.3. La démarche des enseignements en CPGE ATS

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

- la réalité du besoin ou exigences fonctionnelles. Elle se décline dans le cahier des charges défini avec un client ;
- la réalité virtuelle d'un système. Elle se traduit dans l'élaboration d'un modèle permettant de simuler son comportement afin d'en prévoir et d'en évaluer les performances, et de valider les organisations fonctionnelle et structurelle ;
- la réalité matérielle permet de valider par expérimentation les performances du produit ou système.



Les objets et les systèmes, dans leur complexité, mobilisent plusieurs formes d'énergie et sont communicants. Ils sont pluritechnologiques.

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

- contribuer à l'élaboration des trois réalités du système pluritechnologique (le cahier des charges, le système virtuel et le système matériel) ;
- comparer les performances issues de ces trois réalités ;
- optimiser le système virtuel et le système matériel afin de faire converger leurs performances vers celles attendues au cahier des charges.

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

1.4. Usage de la liberté pédagogique

Le programme définit les obligations faites aux professeurs des contenus à enseigner, les mêmes pour tous les étudiants, garantes de l'équité d'une formation offrant à chacun les mêmes chances de réussite. Les finalités et objectifs généraux de la formation en sciences industrielles de l'ingénieur laissent aux enseignants le choix pédagogique de l'organisation des enseignements et de ses méthodes. La nature des enseignements en sciences industrielles de l'ingénieur suppose la mise en œuvre d'une didactique naturellement liée à la discipline qui impose une réflexion sur le développement des compétences, la transmission des connaissances et leur ordonnancement dans la programmation des apprentissages.

La pédagogie mise en œuvre valorise et s'appuie sur la mise en application concrète de connaissances scientifiques et technologiques sur des supports d'enseignement représentatifs de solutions innovantes. Les solutions contemporaines sont mises en perspective avec l'histoire des sociétés, des technologies, avec les préoccupations de respect de l'environnement et des ressources naturelles, de façon à construire les bases d'une culture d'ingénieur éthique et responsable.

1.5. Organisation de l'enseignement

L'enseignement des sciences industrielles de l'ingénieur doit être centré sur les activités de modélisation, de travaux pratiques à partir des systèmes présents dans le laboratoire. Les travaux pratiques sont organisés par groupe de quinze étudiants au maximum dans le laboratoire de sciences industrielles de l'ingénieur.

L'ensemble de ces activités doit renforcer les acquis scientifiques et technologiques, l'autonomie des étudiants, les facultés de prise de décisions. L'objectif de la formation consiste à réduire les différences de maîtrise des compétences dues à l'hétérogénéité des formations d'origines des étudiants ; la pédagogie différenciée est à privilégier.

2. Programme

Le programme est organisé en six compétences générales déclinées en compétences attendues qui pourront être évaluées en fin de formation.

Partant de ces indications de fin de formation, le programme détaille les compétences développées, précise les connaissances associées et fournit un indicateur de positionnement temporel dans le cycle.

Les compétences développées et les connaissances associées sont positionnées dans les semestres, cela signifie :

- qu'elles doivent être acquises en fin du semestre précisé ;
- qu'elles ont pu être introduites au cours du semestre précédent ;
- qu'elles peuvent être mobilisées au semestre suivant.

Les compétences générales et compétences attendues sont détaillées ci-dessous.

A – Analyser

- A1 – Analyser le besoin et les exigences
- A2 – Définir les frontières de l'analyse
- A3 – Analyser l'organisation fonctionnelle et structurelle
- A4 – Analyser les performances et les écarts

B – Modéliser

- B1 – Identifier les phénomènes physiques pour les modéliser et caractériser les grandeurs nécessaires
- B2 – Proposer un modèle de connaissance et de comportement
- B3 – Valider un modèle

C – Résoudre

- C1 – Proposer une démarche de résolution
- C2 – Mettre en œuvre une démarche de résolution analytique
- C3 – Mettre en œuvre une démarche de résolution numérique

D – Expérimenter

- D1 – Mettre en œuvre un système pluritechnologique
- D2 – Choisir un protocole expérimental
- D3 – Mettre en œuvre un protocole expérimental

E – Concevoir

- E1 – Proposer et choisir des solutions techniques
- E2 – Dimensionner une solution technique choisie dans une démarche de développement durable

F – Communiquer

- F1 – Traiter des informations
- F2 – Échanger de l'information

Les liens avec l'enseignement d'informatique du tronc commun sont identifiés par le symbole $\Leftrightarrow I$.

A – Analyser

A1 – Analyser le besoin et les exigences

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Décrire le besoin et les exigences.	Ingénierie système et diagrammes associés (cas d'utilisation et exigences).	S1
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>Les diagrammes SysML, des cas d'utilisation et des exigences, sont présentés à la lecture. Le diagramme des cas d'utilisation peut être proposé à compléter.</i></p>		
Traduire un besoin fonctionnel en exigences.	Impact environnemental. Analyse du cycle de vie (extraction, fabrication, utilisation, fin de vie, recyclage et transport). Multi-étapes et multicritères.	S1
Définir les domaines d'application et les critères technico-économiques et environnementaux.		
Qualifier et quantifier les exigences.		
Sensibiliser à l'impact environnemental et sociétal.		

Sensibiliser aux principes d'intelligence artificielle.	Apprentissage supervisé (notions de base d'apprentissage, d'inférence et de biais).	S1
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>Il s'agit de prendre en compte les exigences liées au développement durable et de sensibiliser aux aspects sociétaux.</i></p> <p><i>L'évaluation de l'impact environnemental et sociétal s'appuie sur les trois piliers du développement durable (social, économique et environnemental).</i></p> <p><i>Ces notions sont mises en évidence par l'intermédiaire d'un outil numérique adapté.</i></p> <p><i>L'analyse du cycle de vie se limite à l'étude d'un produit simple ou d'une partie d'un système.</i></p> <p><i>Une sensibilisation aux principes d'intelligence artificielle et à ses limites est faite à travers quelques exemples pertinents et par la mise en situation des objets d'études lors des travaux dirigés ou des travaux pratiques.</i></p>		

A2 – Définir les frontières de l'analyse

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Isoler un système et justifier l'isolement.	Frontière de l'étude.	S2
Définir les éléments influents du milieu extérieur.	Milieu extérieur.	
Identifier la nature des flux échangés traversant la frontière d'étude.	Flux de matière, d'énergie et d'information.	S1
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>Les diagrammes d'ingénierie système - SysML (définition de blocs, bloc interne) sont proposés à la lecture.</i></p> <p><i>Dans les diagrammes de bloc interne, les variables efforts et flux pour les domaines électrique, mécanique, thermique et hydraulique peuvent être complétées en s'appuyant sur un document fourni présentant la syntaxe.</i></p>		

A3 – Analyser l'organisation fonctionnelle et structurelle

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Associer les fonctions aux constituants.	Architecture fonctionnelle.	S1
Justifier le choix des constituants dédiés aux fonctions d'un système.	Chaînes fonctionnelles (chaîne d'information et chaîne de puissance).	S2
Identifier et décrire les chaînes fonctionnelles du système.	Fonctions acquérir, traiter, communiquer, restituer, alimenter, stocker, adapter, moduler, convertir, transmettre et agir.	S1
Identifier et décrire les liens entre les chaînes fonctionnelles.	Flux de matière, d'énergie et d'information.	S1
Identifier l'architecture structurelle d'un système.	Architecture structurelle.	S1
Identifier la nature des flux échangés entre les différents constituants.	Diagramme de définition de blocs. Diagramme de bloc interne. Flux de matière, d'énergie et d'information (définition et nature).	S1
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>La description des chaînes fonctionnelles de différents systèmes permet de construire une culture technologique.</i></p> <p><i>Les chaînes fonctionnelles sont proposées à la lecture ou à compléter avec les éléments syntaxiques fournis.</i></p> <p><i>Dans le cas d'un système complexe, l'analyse et la description fonctionnelles doivent être partielles, l'étude se limite à une seule chaîne de puissance.</i></p>		
Caractériser un constituant de la chaîne de puissance.	Alimentation d'énergie. Association de préactionneurs et d'actionneurs : – caractéristiques ; – réversibilité ; – domaines d'application. Transmetteurs de puissance : – caractéristiques ; – réversibilité ; – domaines d'application.	S2

<p>Caractériser un constituant de la chaîne d'information.</p>	<p>Capteurs : – fonctions ; – nature des grandeurs physiques d'entrée et de sortie ; – nature du signal et support de l'information.</p> <p>Filtres : – gabarit.</p> <p>Convertisseurs analogique numérique et numérique analogique : – fréquence d'échantillonnage ; –résolution ; –codage.</p>	<p>S2</p>
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>Les étudiants doivent être capables de justifier un choix qualitatif de constituants de la chaîne de puissance ou d'information.</i></p> <p><i>L'influence de la fréquence d'échantillonnage et l'intérêt d'un filtre anti-repliement sont illustrés (le théorème de Shannon est donné sans démonstration).</i></p> <p><i>Le codage d'une information numérique est introduit uniquement sous les formats : décimal, binaire naturel non signé, hexadécimal.</i></p>		
<p>Identifier les architectures matérielles et fonctionnelles d'un réseau de communication.</p>	<p>Topologie. Canal de transmission. Débit. Synchrone, asynchrone.</p>	<p>S2</p>
<p>Décoder une trame en vue d'analyser les différents champs et les données échangées.</p>	<p>Protocole, trame et champs (rôle des champs dans une trame). Adressage physique et logique d'un constituant.</p>	<p>S2</p>
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>L'étude des réseaux de communication est focalisée sur les concepts communs aux protocoles de communication usuels. Aucune connaissance de réseaux précis n'est requise.</i></p> <p><i>Les caractéristiques d'une transmission (règles, formats, conventions, débits de transmission) sont illustrées avec un exemple simple type RS232. Pour les autres protocoles, les informations sont fournies.</i></p> <p><i>Une sensibilisation sur le canal de transmission (rapport signal / bruit) est faite en travaux pratiques.</i></p>		
<p>Interpréter tout ou partie de l'évolution temporelle d'un système séquentiel.</p>	<p>Diagramme d'états. Chronogramme. État, transition, activité et action.</p>	<p>S2</p>

<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>Les diagrammes d'états sont proposés sur des cas simples (quatre états maximum), en s'appuyant sur un document fourni présentant la syntaxe.</i></p> <p><i>Le passage d'un chronogramme en diagramme d'états (ou inversement) est mis en évidence.</i></p>		
<p>Identifier la structure d'un système asservi.</p>	<p>Grandeurs d'entrée et de sortie.</p> <p>Capteur, chaîne directe, chaîne de retour, commande, comparateur, consigne, correcteur et perturbation.</p> <p>Poursuite et régulation.</p>	<p>S1</p>
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>La nécessité d'asservir un système est justifiée par la présence de perturbations et de performances attendues.</i></p>		

A4 – Analyser les performances et les écarts

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
<p>Extraire un indicateur de performance pertinent à partir du cahier des charges ou de résultats issus de l'expérimentation ou de la simulation.</p>	<p>Ordre de grandeur.</p> <p>Homogénéité des résultats.</p>	<p>S2</p>
<p>Caractériser les écarts entre les performances.</p>		
<p>Interpréter et vérifier la cohérence des résultats obtenus expérimentalement, analytiquement ou numériquement. $\Rightarrow I$</p>		
<p>Rechercher et proposer des causes aux écarts constatés.</p>		
<p>Analyser le type de correction nécessaire pour atteindre les performances attendues.</p>	<p>Rejet de perturbation, erreurs, temps de réponse, bande passante, dépassement, marges de gain et de phase.</p> <p>Correcteur proportionnel et proportionnel intégral.</p>	<p>S2</p>

Commentaire

L'interprétation et la vérification de cohérence des résultats obtenus en simulation et/ou expérimentalement permet d'analyser et de proposer des solutions pour minimiser les écarts.

B – Modéliser

B1 – Identifier les phénomènes physiques pour les modéliser et caractériser les grandeurs nécessaires

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Identifier les phénomènes physiques à modéliser.	Nature des grandeurs (effort et flux). Type de l'information.	S1
Caractériser les grandeurs associées utiles à la modélisation.		
Identifier les paramètres d'un modèle.		
Identifier les performances à évaluer.	Performances attendues. Ordres de grandeur. Paramètres prépondérants.	S2
Proposer des hypothèses simplificatrices en fonction des objectifs visés.		

B2 – Proposer un modèle de connaissance et de comportement

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Compléter un modèle multi-physique adapté aux performances à prévoir ou à évaluer.	Domaine de validité. Paramètres d'un modèle. Grandeurs flux et effort. Sources parfaites et imparfaites.	S1
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>L'utilisation d'un logiciel de modélisation multi-physique permettant d'assembler des constituants issus d'une bibliothèque est privilégiée pour la modélisation des systèmes pluritechnologiques.</i></p> <p><i>Les modèles mis en œuvre couvrent les domaines électrique, mécanique, thermique et hydraulique.</i></p> <p><i>Les activités de simulation et d'expérimentation doivent être l'occasion d'une sensibilisation aux limites de validité d'un modèle.</i></p>		
Modéliser un système par schéma-blocs.	Schéma fonctionnel sous forme de blocs d'un système ou d'un	S1

	<p>constituant.</p> <p>Élaboration, manipulation et réduction de schéma-blocs.</p> <p>Fonctions de transfert.</p>	
Établir un modèle de connaissance par des fonctions de transfert.	<p>Systèmes linéaires continus et invariants :</p> <ul style="list-style-type: none"> – causalité ; – modélisation par équations différentielles ; – transformée de Laplace ; – fonction de transfert ; – forme canonique ; – gain, ordre, classe, pôles et zéros. 	S1
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>La présentation de la transformée de Laplace se limite à son énoncé et aux propriétés du calcul symbolique strictement nécessaires.</i></p>		
Modéliser le signal d'entrée.	<p>Transformée de Laplace des signaux canoniques d'entrée (échelon, rampe).</p>	S1
Établir un modèle de comportement à partir d'une réponse temporelle ou fréquentielle. $\Leftrightarrow I$	<p>Premier ordre, deuxième ordre, dérivateur, intégrateur, gain et retard.</p> <p>Paramètres caractéristiques.</p> <p>Allures des réponses indicielle et fréquentielle.</p> <p>Diagramme de Bode.</p>	S2
Simplifier un modèle.	<p>Linéarisation d'un modèle autour d'un point de fonctionnement.</p> <p>Pôles dominants et réduction de l'ordre du modèle :</p> <ul style="list-style-type: none"> – principe ; – justification ; – limites. 	S2
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>Les abaques et équations nécessaires à l'identification temporelle et fréquentielle sont fournis pour le modèle du second ordre.</i></p> <p><i>L'accent est mis sur les approximations faites, leur cohérence et domaine de validité par rapport aux objectifs.</i></p> <p><i>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, etc.).</i></p>		

<p>Déterminer les caractéristiques d'un solide ou d'un ensemble de solides indéformables.</p>	<p>Solide indéformable : – définition ; – repère ; – équivalence solide/repère ; – volume et masse ; – centre d'inertie ; – matrice d'inertie.</p>	<p>S2</p>
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>Les calculs intégraux des éléments d'inertie (matrice et centre d'inertie) ne donnent pas lieu à évaluation. L'adaptation d'une matrice d'inertie d'un volume élémentaire (cylindre, parallélépipède) est vue lors de problématiques choisies.</i></p> <p><i>Le théorème de Huygens n'est pas présenté.</i></p>		
<p>Proposer une modélisation des liaisons avec leurs caractéristiques géométriques.</p>	<p>Liaisons : – géométrie des contacts entre deux solides ; – liaisons parfaites ; – degrés de liberté ; – classe d'équivalence cinématique ; – liaisons normalisées entre solides, caractéristiques géométriques et repères d'expression privilégiés ; – paramètres géométriques linéaires et angulaires ; – symboles normalisés.</p> <p>Graphe de liaisons. Schéma cinématique. Modélisation plane.</p>	<p>S1</p>
<p>Proposer un modèle cinématique à partir d'un système réel ou d'une maquette numérique volumique.</p>		
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>Le paramétrage avec les angles d'Euler ou les angles de roulis, de tangage et de lacet est présenté, mais la maîtrise de ce paramétrage n'est pas exigée.</i></p>		
<p>Modéliser la cinématique d'un ensemble de solides.</p>	<p>Vecteur position. Mouvements simple (translation et rotation) et composé. Trajectoire d'un point. Définition du vecteur vitesse et du vecteur taux de rotation. Définition du vecteur accélération. Composition des mouvements. Définition du contact ponctuel entre deux solides (glissement).</p>	<p>S1</p>

	Torseur cinématique (champ des vecteurs vitesse).	
Modéliser une action mécanique.	Modèle global. Frottements sec (lois de Coulomb) et visqueux. Torseur des actions mécaniques transmissibles. Torseur d'une action mécanique extérieure. Torseurs couple et glisseur.	S2
<i>Commentaire</i> <i>L'hyperstatisme, les résistances au roulement et au pivotement, ainsi que la théorie de Hertz ne sont pas au programme.</i>		
Associer un modèle poutre à un solide déformable.	Hypothèses de géométrie. Fibre neutre et section droite. Torseur de cohésion.	S2
<i>Commentaires</i> <i>Les hypothèses de continuité, d'élasticité, d'homogénéité et d'isotropie des matériaux ainsi que les hypothèses de Navier-Bernoulli et de Barré de Saint-Venant tout comme l'hypothèse des petites perturbations (petites déformations et petits déplacements) sont présentées, mais aucune connaissance spécifique n'est exigible.</i> <i>Le programme se limite aux sollicitations traction simple et flexion simple.</i>		
Paramétrer un modèle dans un logiciel de simulation par éléments finis.	Conditions aux limites.	S2
Décrire le comportement d'un système séquentiel.	Diagramme d'états. Chronogramme. État, transition, activité et action.	S2
<i>Commentaires</i> <i>La modélisation par éléments finis n'est pas exigible et peut être montrée lors de TP.</i> <i>Le diagramme d'états, ou le chronogramme, peut être proposé à lire ou à compléter sur des cas simples (quatre états maximum), en s'appuyant sur un document fourni présentant la syntaxe.</i>		
Proposer une modélisation d'un schéma électrique.	Dipôles élémentaires (résistance, inductance, condensateur). Sources de courant et de tension.	S1
Modéliser les modulateurs statiques d'énergie.	Règles d'interconnexion des sources parfaites.	S2

	<p>Bidirectionnalités des interrupteurs.</p> <p>Association des interrupteurs (cellule élémentaire de commutation).</p> <p>Caractéristiques des modulateurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> – nature des grandeurs d'entrée-sortie ; – réversibilité. 	
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>La modélisation se limite à l'étude fonctionnelle des caractéristiques statiques des interrupteurs avec la mise en évidence de l'unidirectionnalité ou la bidirectionnalité en courant ou tension des interrupteurs.</i></p> <p><i>La modélisation des pertes dans les interrupteurs n'est pas au programme.</i></p> <p><i>La modélisation se limite aux fonctions de modulation continu-continu (hacheur série et hacheur 4 quadrants), continu-alternatif et alternatif-continu non commandée monophasé PD2 (source de courant constant) et à leurs associations.</i></p> <p><i>L'intérêt de la commande à modulation de largeur d'impulsion (MLI) sur le modulateur continu-alternatif est montré d'un point de vue spectral. L'obtention de cette commande n'est pas au programme.</i></p>		
<p>Modéliser un convertisseur électromécanique en régime permanent.</p>	<p>Modèle de la machine à courant continu à flux constant.</p> <p>Modèle monophasé de Behn-Eschenburg de la machine synchrone à flux constant.</p> <p>Modèle monophasé équivalent de la machine asynchrone à cage (pertes fer négligées).</p> <p>Réversibilité.</p> <p>Bilan des puissances en régime permanent.</p>	<p>S2</p>
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>La physique des convertisseurs électromécaniques (machines électriques) n'est pas au programme.</i></p> <p><i>Les modèles des machines alternatives sont fournis et ne sont pas exigibles. Le comportement des machines alternatives est étudié en alimentation à fréquence fixe (ou lentement variable) utilisant les modèles linéaires continus statiques.</i></p> <p><i>Le fonctionnement des machines (moteur et génératrice) est qualifié en régime permanent dans les quatre quadrants.</i></p>		
<p>Modéliser la commande d'un ensemble asservi constitué du modulateur d'énergie, de la machine électrique et de sa charge.</p>	<p>Commande en couple des machines à courant continu et synchrone.</p> <p>Commande scalaire en U/f constant pour la machine asynchrone.</p>	<p>S2</p>

	Commande des machines en vitesse. Modèle en régime dynamique de la machine à courant continu.	
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>La boucle interne de courant (couple) est présentée pour améliorer les performances de la boucle de vitesse angulaire.</i></p> <p><i>Pour la machine synchrone, l'autopilotage est étudié.</i></p> <p><i>Seul le pilotage par le stator est étudié pour les machines alternatives.</i></p>		

B3 – Valider un modèle

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Vérifier la cohérence du modèle choisi en confrontant les résultats analytiques et/ou numériques aux résultats expérimentaux.	Notions d'écarts (absolu, relatif), mesure des écarts. Critères de performances.	S2
Préciser les limites de validité d'un modèle.	Point de fonctionnement. Non-linéarités (courbure, hystérésis, saturation et seuil) et retard pur.	S2
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>Les activités de simulation et d'expérimentation permettent de mettre en évidence les limites des modèles linéaires mais l'étude des modèles non-linéaires n'est pas au programme.</i></p>		
Modifier les paramètres et enrichir le modèle pour minimiser les écarts entre les résultats analytiques et/ou numériques et les résultats expérimentaux.	Hypothèses de modélisation. Paramètres d'un modèle. Paramètres influents et prépondérants.	S2

C – Résoudre

C1 – Proposer une démarche de résolution

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Proposer une démarche permettant d'évaluer les performances des systèmes asservis.	Exigences : – stabilité (définition, marges de stabilité, amortissement et dépassement relatif) ; – précision (erreur/écart statique) ; – rapidité (temps de réponse à 5%, bande passante).	S2
Proposer une démarche de réglage d'un correcteur.	Correcteurs proportionnel et proportionnel-intégral	S2
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>La démarche de réglage d'un correcteur proportionnel-intégral est fournie.</i></p> <p><i>L'influence du retard est montrée lors de séances de travaux pratiques.</i></p>		
Proposer une démarche permettant d'obtenir une loi entrée-sortie géométrique ou cinématique. $\Leftrightarrow I$	Fermetures géométriques. Fermetures cinématiques.	S1
Proposer une démarche permettant la détermination d'une action mécanique inconnue ou d'une loi de mouvement.	Graphe de structure. Choix des isoléments. Choix des équations pertinentes vis-à-vis de l'objectif. Principe fondamental de la statique. Principe fondamental de la dynamique. Théorème de l'énergie cinétique.	S2
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>La détermination d'une action mécanique inconnue se fait dans le cadre d'un référentiel galiléen.</i></p> <p><i>La détermination du moment dynamique est faite uniquement en un point fixe ou au centre d'inertie. La détermination des actions mécaniques inconnues peut être menée par l'usage d'un outil de simulation numérique.</i></p> <p><i>Pour le théorème de l'énergie cinétique, seuls les calculs pour les mouvements élémentaires (rotation, translation) sont au programme. Pour les mouvements combinés, les expressions de l'énergie cinétique sont fournies.</i></p>		
Proposer une démarche permettant de déterminer des grandeurs électriques.	Lois de Kirchhoff. Théorème de superposition. Puissance électrique.	S1

Proposer une démarche permettant de déterminer les contraintes et/ou les déplacements le long d'une poutre.	Tronçons. Méthode des coupures.	S2
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>Les méthodes de résolution des problèmes hyperstatiques en résistance des matériaux ne sont pas au programme et les sollicitations ne sont pas combinées.</i></p>		

C2 – Mettre en œuvre une démarche de résolution analytique

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Caractériser le mouvement d'un repère par rapport à un autre repère.	Trajectoire d'un point. Mouvements de translation, de rotation, ou composé. Vecteurs vitesse et accélération d'un point. Torseur cinématique.	S1
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>Les méthodes graphiques peuvent être présentées mais leur maîtrise n'est pas exigée.</i></p>		
Déterminer les relations entre les grandeurs géométriques ou cinématiques.	Loi entrée-sortie géométrique. Loi entrée-sortie cinématique. Transmetteurs de puissance (vis-écrou, roue et vis sans fin, trains d'engrenages simples, pignon-crémaillère et poulies-courroie).	S1
Déterminer les actions mécaniques à l'équilibre.	Référentiel galiléen. Principe fondamental de la statique. Principe des actions réciproques.	S2
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>Les méthodes graphiques sont présentées pour les solides soumis à trois actions mécaniques maximum, mais leur maîtrise n'est pas exigée.</i></p> <p><i>Les trains épicycloïdaux ne sont pas au programme.</i></p>		
Déterminer les actions mécaniques en dynamique dans le cas où le mouvement est imposé.	Référentiel galiléen. Torseurs cinétique et dynamique d'un solide. Principe fondamental de la dynamique. Énergie cinétique d'un solide ou	S2

<p>Déterminer la loi de mouvement dans le cas où les efforts extérieurs sont connus.</p>	<p>ensemble de solides en mouvement.</p> <p>Inertie et masse équivalentes.</p> <p>Puissance d'une action mécanique extérieure à un solide ou à un ensemble de solides.</p> <p>Puissance des inter-efforts dans un ensemble de solides.</p> <p>Théorème de l'énergie cinétique.</p> <p>Rendement en régime permanent.</p>	
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>La détermination du moment dynamique est faite uniquement en un point fixe ou au centre d'inertie. La détermination des actions mécaniques inconnues peut être menée par l'usage d'un outil de simulation numérique.</i></p> <p><i>Pour le théorème de l'énergie cinétique, seuls les calculs pour les mouvements élémentaires (rotation, translation) sont au programme. Pour les mouvements combinés, les expressions de l'énergie cinétique sont fournies.</i></p>		
<p>Déterminer les grandeurs relatives au comportement d'une poutre.</p>	<p>Torseur de cohésion.</p> <p>Sollicitations (traction-compression et flexion).</p> <p>Contraintes dans une section droite.</p> <p>Déplacements le long d'une ligne moyenne, conditions aux limites.</p> <p>Coefficient de sécurité et résistance mécanique.</p>	<p>S2</p>
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>Les sollicitations ne sont pas combinées. L'effet du cisaillement est hors programme.</i></p>		
<p>Déterminer les grandeurs alternatives en régime sinusoïdal permanent.</p>	<p>Diagramme de Fresnel.</p> <p>Puissances active, apparente, réactive et facteur de puissance en monophasé et triphasé.</p>	<p>S2</p>
<p>Déterminer les grandeurs des modulateurs d'énergie.</p>	<p>Valeurs moyenne et efficace.</p> <p>Ondulation de courant en régime permanent dans les modulateurs.</p>	<p>S2</p>
<p>Déterminer les conditions d'équilibre de l'association convertisseur électromécanique et charge.</p>	<p>Caractéristiques mécaniques actionneur-charge.</p> <p>Point de fonctionnement.</p>	<p>S2</p>
<p>Caractériser le point de fonctionnement en régime permanent</p>	<p>Stabilité d'un point de fonctionnement.</p>	

de l'association convertisseur électromécanique et charge.	Quadrants de fonctionnement.	
Déterminer la réponse temporelle.	<p>Expression de la solution de l'équation différentielle associée à un système d'ordre 1 soumis à une entrée échelon.</p> <p>Allure des représentations temporelles des solutions des équations différentielles d'ordre 1 et 2 pour l'entrée de type échelon.</p>	S1
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>Le calcul des transformées de Laplace et de leurs inverses n'est pas au programme.</i></p> <p><i>Pour les systèmes d'ordre 2, l'influence du facteur d'amortissement sur l'allure de la réponse en fonction est au programme.</i></p>		
Déterminer la réponse fréquentielle.	Diagramme asymptotique de Bode, allure du diagramme de Bode réel.	S2
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>Les diagrammes de Bode réels sont déterminés à l'aide d'outils numériques ou fournis.</i></p>		
Déterminer les performances d'un système asservi.	<p>Stabilité d'un système asservi :</p> <ul style="list-style-type: none"> – définition ; – dépassement ; – marges de stabilité. <p>Rapidité d'un système :</p> <ul style="list-style-type: none"> – temps de réponse à 5 % ; – bande passante. <p>Précision d'un système asservi :</p> <ul style="list-style-type: none"> – théorème de la valeur finale ; – écart/erreur statique ; – sensibilité aux perturbations en régime permanent ; – lien entre la classe de la fonction de transfert en boucle ouverte et l'écart statique ; – lien entre la position de l'intégrateur et la sensibilité aux perturbations. 	S2
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>Seul le diagramme de Bode est au programme.</i></p> <p><i>Pour les systèmes d'ordre 2, les abaques et relations nécessaires sont fournies.</i></p>		
Mettre en œuvre une démarche de réglage d'un correcteur.	Correcteurs proportionnel et proportionnel intégral.	S2

Commentaire

Pour le correcteur proportionnel intégral, la démarche de réglage est fournie.

C3 – Mettre en œuvre une démarche de résolution numérique

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Mener une simulation numérique. $\Leftrightarrow I$	Choix des grandeurs physiques. Choix des paramètres du solveur (pas de la discrétisation et durée de la simulation). Influence des paramètres du modèle sur les performances.	S2

Commentaire

Ces compétences sont acquises dans le cadre du programme d'informatique et sont mises en œuvre lors des travaux pratiques.

D – Expérimenter

D1 – Mettre en œuvre un système pluritechnologique

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Mettre en œuvre un système en suivant un protocole dans le respect des règles de sécurité.	Normes de sécurité.	S1
<i>Commentaires</i> <i>Le respect des instructions de sécurité et des normes est une exigence qui s'appuie sur la fourniture des extraits de textes réglementaires.</i> <i>La connaissance des normes de sécurité n'est pas exigible.</i>		
Identifier les constituants réalisant les principales fonctions des chaînes d'information et de puissance.	Chaîne d'information. Chaîne de puissance.	S1
Identifier les principales grandeurs physiques d'effort et de flux.	Grandeurs d'effort et de flux.	S1

D2 – Choisir un protocole expérimental

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Choisir un protocole en fonction de l'objectif visé.	Caractérisation des grandeurs physiques (unité, ordre de grandeur, amplitude, fréquence, valeurs efficace et moyenne, spectre). Appareils de mesure. Capteurs.	S2
Choisir les réglages du système en fonction de l'objectif visé.		
Choisir la grandeur physique à mesurer ou justifier son choix.		
Justifier le choix d'un appareil de mesure ou d'un capteur vis-à-vis de la grandeur physique à mesurer.		
Choisir les grandeurs d'entrées à imposer et les grandeurs de sorties à acquérir pour identifier un modèle de comportement sur un système ou sur un constituant du système.	Réponses temporelles et harmoniques.	S2
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>L'objectif consiste à qualifier et quantifier une performance et/ou renseigner un modèle de comportement.</i></p>		

D3 – Mettre en œuvre un protocole expérimental

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Régler les paramètres de fonctionnement du système.	Normes de sécurité. Règles de raccordement des appareils de mesure et des capteurs. Caractéristiques (calibre, position, etc.) et fonctions d'un appareil de mesure.	S1
Mettre en œuvre un appareil de mesure adapté à la caractéristique de la grandeur à mesurer.		
Identifier les erreurs de mesure et de méthode.	Incertitudes, résolution, justesse, fidélité, linéarité et sensibilité. Échantillonnage, repliement de spectre, quantification.	S2
<p><i>Commentaire</i></p> <p><i>L'incertitude renvoie à la technologie des appareils de mesure et des capteurs. Il n'est pas exigé de longs développements théoriques et calculs associés.</i></p>		
Générer un programme et l'implanter dans le système cible.	Outils de programmation.	S2

Relever les grandeurs caractéristiques d'un protocole de communication.	Protocole, trame. Débit maximal, débit utile. Caractéristiques des signaux.	S2
Mettre en œuvre une liaison entre objets communicants.	Paramètres de configuration d'un réseau. Adressage physique et logique.	S2
<i>Commentaire</i> Ces compétences sont développées et évaluées dans le cadre de travaux pratiques.		

E – Concevoir

E1 – Proposer et choisir des solutions techniques

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Proposer et hiérarchiser des critères de choix.	Critères liés au triptyque matière, énergie, information.	S2
<i>Commentaire</i> <i>Les critères de choix abordés sont liés aux fonctionnalités techniques au coût et à l'impact environnemental.</i>		
Choisir un constituant d'un système pluritechnologique.	Dispositifs de stockage d'énergie. Modulateurs, convertisseurs, transmetteurs de puissance. Effecteurs. Capteurs.	S2
<i>Commentaires</i> <i>Les modulateurs et convertisseurs de puissance se limitent aux technologies électrique et mécanique.</i> <i>Les choix sont faits à partir de documents techniques fournis en prenant en compte l'impact environnemental.</i>		
Modifier la commande pour faire évoluer le comportement du système.	Modification d'un programme : – système séquentiel ; – structures algorithmiques. Système combinatoire. Choix du type de correcteur.	S2
<i>Commentaires</i> <i>Le formalisme des structures algorithmiques est donné et le séquentiel est limité à la modification du diagramme d'état.</i> <i>L'étude des systèmes combinatoires se limite à l'établissement de la table de vérité (limitée à quatre entrées), des équations logiques (sans réduction) et aux fonctions logiques (sans</i>		

logigramme).

E2 – Dimensionner une solution technique choisie dans une démarche de développement durable

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Dimensionner un constituant des chaînes fonctionnelles.	Constituants de la chaîne d'information. Constituants de la chaîne de puissance.	S2

Commentaires

Le dimensionnement peut se faire à partir des exigences et d'une documentation technique tout en respectant les enjeux environnementaux.

Pour la chaîne d'information, le dimensionnement concerne les constituants suivants :

- capteurs (étendue de mesure, précision, et sensibilité) ;*
- convertisseurs analogique numérique et numérique analogique (fréquence d'échantillonnage, résolution et plage de conversion) ;*
- filtre passif (fréquence de coupure, gabarit) ;*
- liaisons série et réseaux (débit de communication).*

Pour la chaîne de puissance, le dimensionnement concerne les constituants suivants :

- dispositifs de stockage d'énergie ;*
- modulateurs de puissance : grandeurs flux et effort en régime permanent et contrainte maximale ;*
- convertisseurs électromécaniques : couple quadratique (thermique) équivalent ;*
- éléments des transmetteurs de puissance modélisés par des poutres : flèche et coefficient de sécurité vis-à-vis de la contrainte maximale.*

F – Communiquer

F1 – Traiter des informations

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Rechercher des informations.	Outils de recherche.	S2

Vérifier la pertinence des informations (obtention, véracité, fiabilité et précision de l'information).		
Extraire les informations utiles d'un dossier technique.		
Interpréter des informations.		
<p><i>Commentaires</i></p> <p><i>Les représentations schématiques technologiques sont fournies.</i></p> <p><i>Les diagrammes d'ingénierie système sont proposés à la lecture.</i></p> <p><i>Les outils d'intelligence artificielle peuvent être utilement mobilisés pour extraire les informations, cela doit également être l'occasion de sensibiliser les étudiants au nécessaire esprit critique quant aux résultats produits par un outil d'intelligence artificielle.</i></p>		

F2 – Échanger de l'information

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Choisir un outil de communication adapté au contexte.	Outils de communication.	S2
Utiliser un vocabulaire technique, des symboles et des unités adéquats.	Vocabulaire technique.	