Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE
DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR,
DE LA RECHERCHE
ET DE L'INNOVATION

Classes préparatoires aux grandes écoles

Filière scientifique

Voies Physique, technologie et sciences de l'ingénieur (PTSI) et Physique et technologie (PT)

Annexe 3

Programmes de sciences industrielles de l'ingénieur

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr

PROGRAMME DE SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR DANS LA FILIÈRE PTSI-PT

1. Objectifs de formation

1.1. Finalité

Le programme de sciences industrielles de l'ingénieur de la filière PTSI-PT s'inscrit dans un parcours de formation initiale pour accéder au titre d'ingénieur. Il trouve ses racines dans le choix de spécialités scientifiques au cycle terminal du lycée. 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 STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*).

1.2. Objectifs généraux

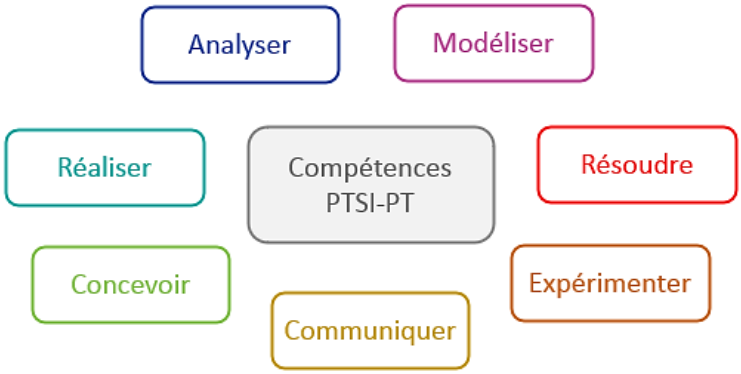
Les ingénieurs doivent être en capacité de résoudre de façon innovante des problèmes inédits afin de répondre aux besoins des personnes et d'apporter un progrès dans leur qualité de vie. Ils participent aux processus de développement des systèmes à chaque étape de leur cycle de vie, de la caractérisation 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 PTSI-PT 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 en PTSI-PT se donne 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.

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

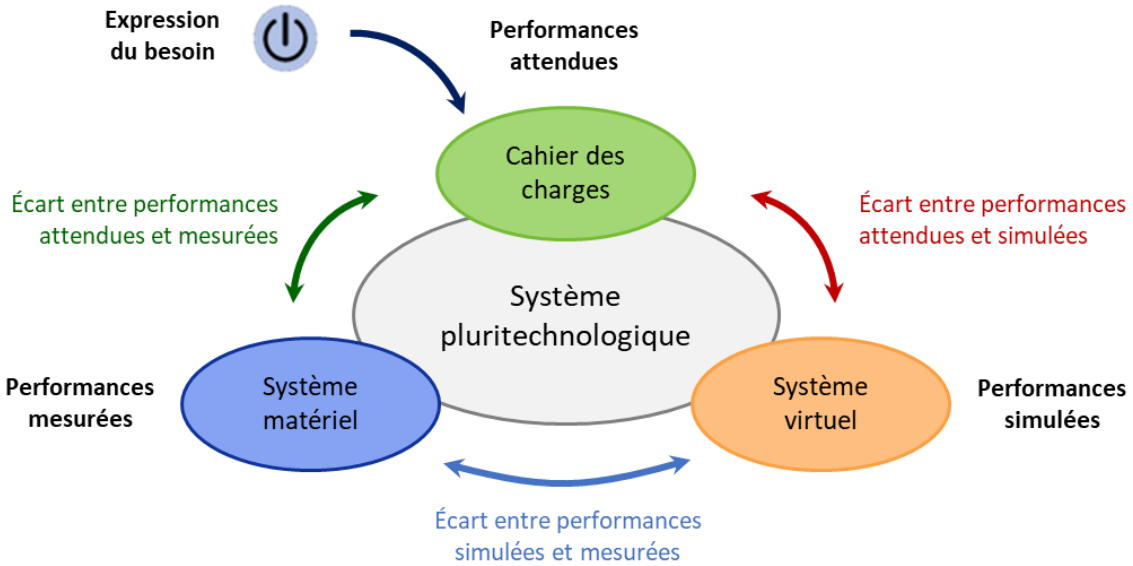


Les compétences générales de l'ingénieur développées en PTSI-PT

1.3. La démarche des enseignements en PTSI-PT

L'approche pédagogique et didactique des enseignements en PTSI-PT 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 d'un système. Elle se traduit par la réalisation d'un prototype fonctionnel qui permet de valider par expérimentation les performances du produit ou système.



La démarche pédagogique et didactique en sciences industrielles de l'ingénieur

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

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

La démarche en sciences industrielles de l'ingénieur en PTSI-PT 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 PTSI-PT 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 PTSI-PT installent progressivement l'ensemble des connaissances et des compétences nécessaires à la maitrise 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.

À partir de l'analyse du cahier des charges, des solutions innovantes sont conçues et réalisées. La réalisation consiste en la production de modèles à l'aide d'outils numériques et de prototypes matériels des systèmes, capables de valider tout ou partie du cahier des charges.

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. Les supports d'enseignement sont choisis afin d'être représentatifs des solutions innovantes pour répondre aux besoins actuels. Les solutions contemporaines sont mises en perspective avec l'histoire des sociétés, des sciences et des techniques, 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.

2. Programme

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

Partant de ces indications de fin de cycle, 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 des semestres précédents ;
- qu'elles peuvent être mobilisées aux semestres suivants.

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
- A5 – Analyser un compromis produit-procédés-matériaux

B – Modéliser
- B1 – Choisir les grandeurs physiques et les caractériser
- 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
- D2 – Proposer et justifier un protocole expérimental
- D3 – Mettre en œuvre un protocole expérimental

E – Communiquer
- E1 – Rechercher et traiter des informations
- E2 – Produire et échanger de l'information

F – Concevoir
- F1 – Concevoir l'architecture d'un système innovant
- F2 – Proposer et choisir des solutions techniques
- F3 – Dimensionner une solution technique choisie

G – Réaliser
- G1 – Réaliser tout ou partie d'un prototype
- G2 – Industrialiser un produit

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

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

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. Cahier des charges.	S1
Commentaires *La connaissance de la syntaxe d'un langage d'Ingénierie Système n'est pas exigible. La structure des diagrammes d'Ingénierie Système (SysML) est fournie. Ils peuvent être proposés à lire ou à compléter.*		

Traduire un besoin fonctionnel en exigences.	Impact environnemental. Analyse du cycle de vie (extraction, fabrication, utilisation, fin de vie, recyclage et transport). Critères et niveaux.	S1
Définir les domaines d'application et les critères technico-économiques et environnementaux.		
Qualifier et quantifier les exigences.		
Évaluer l'impact environnemental et sociétal.		
Commentaire *Il s'agit de prendre en compte les exigences liées au développement durable et sensibiliser aux aspects sociétaux.*		

A2 – Définir les frontières de l'analyse

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Isoler un système et justifier l'isolement.	Frontière de l'étude. Milieu extérieur.	S2
Définir les éléments influents du milieu extérieur.		
Identifier la nature des flux échangés traversant la frontière d'étude.	Flux de matière, d'énergie et d'information (définition, nature et codage).	S2

A3 – Analyser l'organisation fonctionnelle et structurelle

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Associer les fonctions aux constituants.	Architecture fonctionnelle et structurelle. Diagramme de définition de blocs. Diagramme de bloc interne. Chaines fonctionnelles (chaine d'information et chaine de puissance). Fonctions acquérir, traiter et communiquer. Fonctions alimenter, moduler, convertir, transmettre et agir. Systèmes asservis et séquentiels.	S1
Justifier le choix des constituants dédiés aux fonctions d'un système.		S4
Identifier et décrire les chaines fonctionnelles du système.		S1
Identifier et décrire les liens entre les chaines fonctionnelles.		S1
Commentaires *La description des chaines fonctionnelles de différents systèmes permet de construire une culture technologique.* *Les chaines fonctionnelles, diagrammes de définition de blocs et diagrammes de bloc interne peuvent être à lire ou à compléter avec les éléments syntaxiques fournis.*		

Caractériser un constituant de la chaine de puissance.	Alimentation d'énergie. Association de préactionneurs et d'actionneurs : – caractéristiques ; – réversibilité ; – domaines d'application. Transmetteurs de puissance : – caractéristiques ; – réversibilité ; – domaines d'application.	S3
Caractériser un constituant de la chaine d'information.	Capteurs : – fonctions ; – nature des grandeurs physiques d'entrées et de sorties ; – nature du signal et support de l'information. Carte programmable.	S2
Analyser un algorithme. ⇆ I	Définition et appel d'une fonction. Variables (type et portée). Structures algorithmiques (boucles et tests).	S1

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

Analyser les principes d'intelligence artificielle. ⇆ ***I***	Régression et classification, apprentissages supervisé et non supervisé. Phases d'apprentissage et d'inférence. Modèle linéaire monovariable ou multivariable. Réseaux de neurones (couches d'entrée, cachées et de sortie, neurones, biais, poids et fonction d'activation).	S3
Identifier les architectures matérielles et fonctionnelles d'un réseau de communication.	Caractéristiques d'un réseau (débit, dimension, robustesse et topologie). Supports de l'information. Caractéristiques d'un canal de transmission. Multiplexage temporel et fréquentiel. Protocole, trame et champs (rôle des champs dans une trame). Adressage physique et logique d'un constituant.	S2
Décoder une trame en vue d'analyser les différents champs et les données échangées.		
Commentaire *L'étude des réseaux de communication est focalisée sur les concepts communs aux protocoles de communication usuels.*		

Interpréter tout ou partie de l'évolution temporelle d'un système séquentiel.	Diagramme d'états. État, transition, événement, condition de garde, activité et action.	S2
Commentaires *La connaissance de la syntaxe d'un langage d'Ingénierie Système n'est pas exigible. La structure des diagrammes d'Ingénierie Système (SysML) est fournie. Ils peuvent être proposés à lire ou à compléter.* *L'évolution temporelle des états et des variables d'un diagramme d'états est représentée sous la forme d'un chronogramme.*		

Identifier la structure d'un système asservi.	Grandeurs d'entrée et de sortie. Capteur, chaine directe, chaine de retour, commande, comparateur, consigne, correcteur et perturbation. Poursuite et régulation.	S1

A4 – Analyser les performances et les écarts

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Extraire un indicateur de performance pertinent à partir du cahier des charges ou de résultats issus de l'expérimentation ou de la simulation.	Ordre de grandeur. Homogénéité des résultats. Matrice de confusion (tableau de contingence), sensibilité et spécificité d'un test.	S4
Caractériser les écarts entre les performances.		
Interpréter et vérifier la cohérence des résultats obtenus expérimentalement, analytiquement ou numériquement. ⇆ I		
Rechercher et proposer des causes aux écarts constatés.		

A5 – Analyser un compromis produit-procédés-matériaux

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Justifier le choix d'un indicateur de performance.	Propriétés physiques (acoustique, électrique, magnétique, mécanique et thermique). Classes des matériaux, domaines généraux d'application. Diagrammes d'Ashby. Impact environnemental.	S3
Comparer qualitativement les caractéristiques physiques des matériaux.		
Justifier le choix d'un matériau et/ou d'un procédé.		
Commentaires *Les propriétés physiques des matériaux sont caractérisées grâce aux essais de traction, dureté, résilience et fatigue.* *La connaissance des désignations normalisées des matériaux n'est pas au programme*.		

Justifier le besoin fonctionnel d'une spécification.	Principes (d'indépendance, de la pièce rigide, de l'élément, de dualité, d'invocation et de responsabilité). Modèles (nominal, extrait et skin model). Opérations (partition, collection, filtrage, extraction, construction et association). Définition d'une spécification (condition unilimite sur une caractéristique dimensionnelle). Spécifications géométriques par taille, par zone et par gabarit. Fiche GPS.	S2
Décoder les spécifications géométriques par taille, par zone et par gabarit.		
Analyser le lien entre la liaison mécanique et les systèmes de référence associés aux surfaces des composants participants.		
Commentaires *Les ajustements normalisés ne sont pas exigibles. Seule la nature des ajustements est à préciser (glissant, incertain et serré).* *Le seul modificateur au programme est l'exigence de l'enveloppe.*		

B – Modéliser

B1 – Choisir les grandeurs physiques et les caractériser

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Identifier les performances à prévoir ou à évaluer.	Grandeurs flux, grandeurs effort.	S4
Identifier les grandeurs d'entrée et de sortie d'un modèle.		
Identifier les paramètres d'un modèle.		
Proposer des hypothèses nécessaires à la modélisation.		

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

B2 – Proposer un modèle de connaissance et de comportement

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Choisir un modèle adapté aux performances à prévoir ou à évaluer.	Phénomènes physiques. Domaine de validité. Solides indéformable et déformable.	S4
Compléter un modèle multiphysique.	Paramètres d'un modèle. Grandeurs flux et effort. Sources parfaites.	S3
Associer un modèle aux composants des chaines fonctionnelles.		
Commentaires *Un logiciel de modélisation multiphysique permettant d'assembler des composants technologiques issus d'une bibliothèque est privilégié pour la modélisation des systèmes pluritechnologiques. Les modèles mis en œuvre couvrent différents domaines (électrique, mécanique, thermique, hydraulique et pneumatique).*		

Établir un modèle de connaissance par des fonctions de transfert.	Systèmes linéaires continus et invariants : – causalité ; – modélisation par équations différentielles ; – transformées de Laplace ; – fonction de transfert ; – forme canonique ; – gain, ordre, classe, pôles et zéros.	S1
Commentaires *L'utilisation des transformées de Laplace ne nécessite aucun prérequis. Leur présentation se limite à leurs énoncés et aux propriétés du calcul symbolique strictement nécessaires. Les théorèmes de la valeur finale, de la valeur initiale et du retard sont donnés sans démonstration.*		

Modéliser le signal d'entrée.	Signaux canoniques d'entrée : – impulsion ; – échelon ; – rampe ; – signaux périodiques.	S1
Établir un modèle de comportement à partir d'une réponse temporelle ou fréquentielle. ⇆ I	Premier ordre, deuxième ordre, dérivateur, intégrateur, gain et retard. Paramètres caractéristiques. Allures des réponses indicielle et fréquentielle. Diagramme de Bode.	S2

Modéliser un système par schéma-blocs.	Schéma-blocs organique d'un système. Élaboration, manipulation et réduction de schéma-blocs. Fonctions de transfert : – chaîne directe et chaîne de retour ; – boucle ouverte et boucle fermée.	S1
Simplifier un modèle.	Linéarisation d'un modèle autour d'un point de fonctionnement. Pôles dominants et réduction de l'ordre du modèle : – principe ; – justification ; – limites.	S3
Modéliser un correcteur numérique. ⇆ I	Caractérisation des signaux à temps discret (échantillonnage et quantification). Modélisation par équations aux différences (équations de récurrence) d'un correcteur numérique (proportionnel, proportionnel intégral et à avance de phase).	S4
Commentaires *L'augmentation de la période d'échantillonnage permet de mettre en évidence les limites du modèle continu.* *Les transformées en z ne sont pas au programme.*		

Déterminer les caractéristiques d'un solide ou d'un ensemble de solides indéformables.	Solide indéformable : – définition ; – repère ; – équivalence solide/repère ; – volume et masse ; – centre d'inertie ; – matrice d'inertie.	S3
Commentaire *Les calculs intégraux des éléments d'inertie (matrice et centre d'inertie) ne donnent pas lieu à évaluation.*		

Intégrer ou modifier une pièce dans un assemblage à l'aide d'un modeleur volumique 3D.	Esquisse (contrainte, robustesse et paramétrage). Fonctions (ajout et enlèvement de matière).	S2

Proposer une modélisation des liaisons avec leurs caractéristiques géométriques.	Liaisons : – liaisons parfaites ; – degrés de liberté ; – classe d'équivalence cinématique ; – géométrie des contacts entre deux solides ; – liaisons normalisées entre solides, caractéristiques géométriques et repères d'expression privilégiés ; – paramètres géométriques linéaires et angulaires ; – symboles normalisés. Graphe de liaisons. Schéma cinématique.	S1
Proposer un modèle cinématique paramétré à partir d'un système réel, d'une maquette numérique ou d'un plan d'ensemble.		
Modéliser la cinématique d'un ensemble de solides.	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 (roulement et glissement). Torseur cinématique (champ des vecteurs vitesse).	S1
Modéliser les petits déplacements.	Torseur des petits déplacements.	S3
Modéliser une action mécanique.	Modèle local (densités linéique, surfacique et volumique d'effort). Actions à distance et de contact. Modèle global. Passage d'un modèle local au modèle global. Frottements sec (lois de Coulomb) et visqueux. Résistance au roulement et au pivotement. Torseur des actions mécaniques transmissibles. Torseur d'une action mécanique extérieure. Torseurs couple et glisseur.	S2
Simplifier un modèle de mécanisme.	Associations de liaisons en série et en parallèle. Liaisons équivalentes (approches cinématique et statique). Conditions et limites de la modélisation plane.	S2

Modifier un modèle pour le rendre isostatique.	Mobilité du modèle d'un mécanisme. Hyperstatisme du modèle. Substitution de liaisons et ajout de solide. Conditions géométriques associées à l'hyperstatisme.	S2
Associer un modèle poutre à un solide.	Hypothèses de géométrie. Fibre neutre et section droite. Hypothèses de continuité, d'élasticité, d'homogénéité et d'isotropie des matériaux. Hypothèses de Navier-Bernoulli et de Barré de Saint-Venant. Hypothèse des petites perturbations (petites déformations et petits déplacements).	S3
Décrire le comportement d'un système séquentiel.	Diagramme d'états.	S2
Commentaire *La description graphique permet de s'affranchir d'un langage de programmation spécifique.*		

Modéliser les convertisseurs statiques d'énergie.	Modèles des interrupteurs parfaits. Synthèse des convertisseurs. Association des interrupteurs (cellule élémentaire de commutation). Caractéristiques des convertisseurs : – nature des grandeurs d'entrée-sortie ; – réversibilité.	S2
Commentaires *La modélisation se limite à :* *– l'étude fonctionnelle des interrupteurs deux ou trois segments ;* *– l'étude structurelle des convertisseurs à deux ou trois cellules de commutation.* *La synthèse des convertisseurs (modulateurs d'énergie) impose de s'intéresser aux règles d'association des sources parfaites, à leur réversibilité et à la bidirectionnalité des interrupteurs. Elle se limite aux fonctions de conversion continu-continu (hacheur), continu-alternatif (onduleur) et alternatif-continu (redresseur)*		

Modéliser un convertisseur électromécanique.	Modèle électromécanique de la machine à courant continu. Modèle statique monophasé de la machine synchrone (FEM induite, réactance synchrone et résistance). Modèle statique monophasé équivalent de la machine asynchrone (inductance magnétisante en parallèle avec la résistance et l'inductance de fuite du rotor). Bilan des puissances du convertisseur électromécanique en régime permanent.	S4
Commentaires *La physique des convertisseurs électromécaniques (machines électriques) n'est pas au programme. Les modèles des machines alternatives sont fournis. Le comportement des machines alternatives est étudié en alimentation en fréquence fixe (ou lentement variable) utilisant les modèles linéaires continus statiques.* *Pour les machines alternatives, seule la commande scalaire est étudiée (commande en « U/f » constant).* *Le fonctionnement des machines alimentées en grandeurs alternatives est qualifié en régime permanent dans les quatre quadrants.*		

Modéliser la commande d'un ensemble asservi constitué du modulateur d'énergie, de la machine électrique et de sa charge.	Commande des machines en couple. Commande des machines en vitesse. Modèle dynamique dans le plan (d,q) des machines synchrones et asynchrones.	S4
Commentaires *Les modèles dynamiques des machines électriques dans le plan (d,q) sont fournis.*		

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.	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.	S4
Modifier les paramètres et enrichir le modèle pour minimiser l'écart entre les résultats analytiques et/ou numériques et les résultats expérimentaux.		S4

C – Résoudre

C1 – Proposer une démarche de résolution

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Proposer une démarche permettant d'évaluer les performances des systèmes asservis.	Critères du cahier des charges : – stabilité (marges de stabilité, amortissement et dépassement relatif) ; – précision (erreur/écart statique et erreur de trainage) ; – rapidité (temps de réponse à 5 %, bande passante, temps de montée et retard de trainage).	S2
Proposer une démarche de réglage d'un correcteur.	Compensation de pôles, réglage de marges, amortissement, rapidité et bande passante. Application aux correcteurs de type proportionnel, proportionnel intégral et à avance de phase.	S3
Choisir une démarche de résolution d'un problème d'ingénierie numérique ou d'intelligence artificielle. ⇆ I	Décomposition d'un problème complexe en sous problèmes simples. Choix des algorithmes (réseaux de neurones, k plus proches voisins et régression linéaire multiple).	S3
Proposer une démarche permettant d'obtenir une loi entrée-sortie géométrique. ⇆ I	Fermetures géométriques.	S1
Proposer une démarche permettant la détermination d'une action mécanique inconnue ou d'une loi de mouvement.	Graphe de structure. Choix des isolements. Choix des équations à écrire pour appliquer le principe fondamental de la statique ou le principe fondamental de la dynamique dans un référentiel galiléen. Théorème de l'énergie cinétique.	S3
Proposer une démarche permettant de déterminer des grandeurs électriques.	Lois de Kirchhoff. Théorème de superposition.	S1

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

Proposer une démarche permettant de déterminer les contraintes et/ou les déplacements le long d'une poutre.	Tronçons. Méthode des coupures. Théorème de superposition.	S3
Commentaire *Les méthodes de résolution des problèmes hyperstatiques en résistance des matériaux ne sont pas au programme.*		

C2 – Mettre en œuvre une démarche de résolution analytique

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Déterminer la réponse temporelle. ⇆ I	Expressions des solutions des équations différentielles pour les systèmes d'ordre 1 et 2 soumis à une entrée échelon. Allures des solutions des équations différentielles d'ordre 1 et 2 pour les entrées de type impulsion, échelon, rampe et sinus (en régime permanent).	S1
Commentaire *La résolution d'équations différentielles et les transformées inverses de Laplace ne sont pas au programme.*		

Déterminer la réponse fréquentielle. ⇆ I	Allures des diagrammes réel et asymptotique de Bode.	S2
Déterminer les performances d'un système asservi.	Stabilité d'un système asservi : – définition ; – amortissement ; – position des pôles dans le plan complexe ; – marges de stabilité. Rapidité d'un système : – temps de réponse à 5 % ; – temps de montée ; – bande passante. Précision d'un système asservi : – théorème de la valeur finale ; – écart/erreur statique (consigne ou perturbation) ; – erreur de trainage vis-à-vis de la consigne ; – lien entre la classe de la fonction de transfert en boucle ouverte et l'écart statique.	S2

© Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2021

Commentaire *Les critères de Routh et de Nyquist, ainsi que les diagrammes de Black-Nichols et de Nyquist, ne sont pas au programme.*

Mettre en œuvre une démarche de réglage d'un correcteur.	Correcteurs proportionnel, proportionnel intégral et à avance de phase.	S4
Caractériser le mouvement d'un repère par rapport à un autre repère.	Trajectoire d'un point. Mouvements de translation et de rotation. Mouvement composé.	S1
Déterminer les relations entre les grandeurs géométriques ou cinématiques. ⇆ I	Loi entrée-sortie géométrique. Loi entrée-sortie cinématique. Transmetteurs de puissance (vis-écrou, roue et vis sans fin, trains d'engrenages simples, trains épicycloïdaux, pignon-crémaillère et poulies-courroie).	S2
Déterminer les actions mécaniques en statique.	Référentiel galiléen. Principe fondamental de la statique. Principe des actions réciproques.	S2
Déterminer les actions mécaniques en dynamique dans le cas où le mouvement est imposé.	Torseurs cinétique et dynamique d'un solide ou d'un ensemble de solides, par rapport à un référentiel galiléen. Principe fondamental de la dynamique en référentiel galiléen. Énergie cinétique. Inertie et masse équivalentes. Puissance d'une action mécanique extérieure à un solide ou à un ensemble de solides, dans son mouvement par rapport au repère galiléen. Puissance intérieure à un ensemble de solides. Théorème de l'énergie cinétique. Rendement en régime permanent.	S3
Déterminer la loi de mouvement dans le cas où les efforts extérieurs sont connus.		
Déterminer les grandeurs relatives au comportement d'une poutre.	Torseur de cohésion. Sollicitations (traction, torsion, flexion et cisaillement). Contraintes dans une section droite, déplacements le long d'une ligne moyenne et déformations. Conditions aux limites.	S3

Déterminer les signaux électriques dans les circuits.	Circuits en régime alternatif sinusoïdal. Diagramme de Fresnel. Puissance active (continu, monophasé et triphasé en régime alternatif sinusoïdal). Puissances apparente et réactive, en monophasé et triphasé en régime alternatif sinusoïdal. Ondulation des grandeurs électriques en régime permanent dans les convertisseurs. Composants de filtrage.	S3

C3 – Mettre en œuvre une démarche de résolution numérique

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Mener une simulation numérique. ⇆ I	Choix des grandeurs physiques. Choix du solveur et de ses paramètres (pas de discrétisation et durée de la simulation). Choix des paramètres de classification. Influence des paramètres du modèle sur les performances.	S4
Résoudre numériquement une équation ou un système d'équations. ⇆ I	Réécriture des équations d'un problème. Résolution de problèmes du type $f(x) = 0$ (méthodes de dichotomie et de Newton). Résolution d'un système linéaire du type $A \cdot X = B$. Résolution d'équations différentielles (schéma d'Euler explicite). Intégration et dérivation numérique (schémas arrière et avant).	S3
Commentaires *La « réécriture des équations » signifie :* *– remettre en forme des équations pour leurs traitements par une bibliothèque ;* *– mettre sous forme matricielle un problème (problème de Cauchy et système linéaire).* *Les méthodes numériques sont introduites au fur et à mesure, en fonction des besoins de la formation. Pour la résolution d'un système d'équations du type $A \cdot X = B$, l'utilisation d'une bibliothèque préimplémentée est privilégiée.* *Les aspects théoriques liés aux méthodes numériques ne sont pas exigibles (stabilité, convergence, conditionnement de matrices…).*		

Résoudre un problème en utilisant une solution d'intelligence artificielle. ⇆ ***I***	Apprentissage supervisé. Choix des données d'apprentissage. Mise en œuvre des algorithmes (réseaux de neurones, *k* plus proches voisins et régression linéaire multiple). Phases d'apprentissage et d'inférence.	S3
Commentaire *Des bibliothèques préimplémentées sont utilisées.*		

D – Expérimenter

D1 – Mettre en œuvre un système

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Mettre en œuvre un système en suivant un protocole.		S1
Repérer les constituants réalisant les principales fonctions des chaines fonctionnelles.	Fonctions acquérir, traiter et communiquer. Fonctions alimenter, moduler, convertir, transmettre et agir.	S1
Identifier les grandeurs physiques d'effort et de flux.		S2

D2 – Proposer et justifier un protocole expérimental

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Choisir le protocole en fonction de l'objectif visé.		S4
Choisir les configurations matérielles et logicielles du système en fonction de l'objectif visé par l'expérimentation.		S2
Choisir les réglages du système en fonction de l'objectif visé par l'expérimentation.		
Choisir la grandeur physique à mesurer ou justifier son choix.		

Choisir les entrées à imposer et les sorties pour identifier un modèle de comportement.		S2
Justifier le choix d'un capteur ou d'un appareil de mesure vis-à-vis de la grandeur physique à mesurer.		S3

D3 – Mettre en œuvre un protocole expérimental

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Régler les paramètres de fonctionnement d'un système.		S1
Mettre en œuvre un appareil de mesure adapté à la caractéristique de la grandeur à mesurer.		S3
Effectuer des traitements à partir de données. ⇆ I	Traitement de fichiers de données. Moyenne et écart type. Moyenne glissante et filtres numériques passe-bas du premier et du second ordre.	S3
Identifier les erreurs de mesure.	Incertitudes, résolution, quantification, échantillonnage, justesse, fidélité, linéarité et sensibilité.	S2
Identifier les erreurs de méthode.		
Commentaires *L'incertitude renvoie à la technologie des appareils de mesure et des capteurs. Il n'est pas souhaité de longs développements théoriques et calculs associés.*		

E – Communiquer

E1 – Rechercher et traiter des informations

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Rechercher des informations.	Outils de recherche. Mots-clefs.	S2
Distinguer les différents types de documents et de données en fonction de leurs usages.		S2
Vérifier la pertinence des informations (obtention, véracité, fiabilité et précision de l'information).		
Extraire les informations utiles d'un dossier technique.		
Lire et décoder un document technique.	Diagrammes SysML. Schémas cinématique, électrique, hydraulique et pneumatique. Représentation 2D normalisée (dessin de définition et plan d'ensemble). Représentation 3D.	S4
Commentaire *Les normes de représentation des schémas pneumatiques, hydrauliques et du langage SysML sont fournies.*		

Trier les informations selon des critères.		S2
Effectuer une synthèse des informations disponibles dans un dossier technique.		

E2 – Produire et échanger de l'information

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Choisir un outil de communication adapté à l'interlocuteur.		S2
Faire preuve d'écoute et confronter des points de vue.		
Présenter les étapes de son travail.		
Présenter de manière argumentée une synthèse des résultats.		
Produire des documents techniques adaptés à l'objectif de la communication. ⇆ I	Diagrammes SysML. Chaine fonctionnelle. Schéma-blocs. Schémas cinématique, électrique, pneumatique et hydraulique. Schéma d'architecture. Graphe de structure. Croquis, représentations 3D et normalisée 2D. Spécifications d'algorithmes.	S4
Commentaires *Les représentations effectuées « à la main » doivent traduire, sans ambiguïté, les intentions de conception sans se focaliser sur les détails de tracé. La représentation normalisée des éléments standards ne peut être exigée.* *L'écriture des diagrammes SysML se limite à leur complétion et à leur modification*.		

Utiliser un vocabulaire technique, des symboles et des unités adéquats.	Grandeurs utilisées : – unités du système international ; – homogénéité des grandeurs.	S4

F – Concevoir

F1 – Concevoir l'architecture d'un système innovant

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Proposer une architecture fonctionnelle et organique.		S4
Commentaires *Cette proposition peut se faire sous forme d'association de blocs.* *Il s'agit d'allouer des composants à la satisfaction d'exigences fonctionnelles et éventuellement de décrire les interfaces entre ces composants.* *L'activité de projet est une modalité pédagogique à privilégier pour développer cette compétence.*		

Intégrer les contraintes d'écoconception dans les architectures proposées.	Cycle de vie.	S4
Commentaires *Les notions suivantes sont abordées :* *– développement d'un nouveau concept ;* *– sélection des matériaux ayant le moins d'impact environnemental ;* *– réduction de la quantité de matière ;* *– techniques de production ;* *– logistique ;* *– durée de vie du produit ;* *– fin de vie (recyclabilité et valorisation des produits).* *Aucune méthode normalisée ne donne lieu à évaluation.*		

F2 – Proposer et choisir des solutions techniques

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Proposer et hiérarchiser des critères de choix.	En relation avec le cahier des charges du système, les critères suivants sont abordés : – autonomie énergétique ; – coût ; – durée de vie ; – encombrement ; – impact environnemental ; – précision et rapidité ; – rendement ; – réversibilité ; – résistance et déplacement. Cette liste est non exhaustive.	S4

Choisir les composants de la chaine d'information.	Technologie de capteur. Carte de commande.	S4
Choisir les composants de la chaine de puissance.	Dispositifs de stockage d'énergie. Modulateur de puissance. Convertisseur de puissance. Transmetteur de puissance.	S4
Modifier la commande pour faire évoluer le comportement du système. ⇆ *I*	Modification d'un programme : – système séquentiel ; – structures algorithmiques. Choix et paramètres d'un correcteur.	S4

F3 – Dimensionner une solution technique choisie

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Dimensionner un composant des chaines fonctionnelles à partir d'une documentation technique.	Chaine d'information : – capteurs (étendue de mesure, précision, justesse, fidélité et sensibilité) ; – carte de commande (résolution et mémoire) ; – débit de communication. Chaine de puissance : – durée de vie ; – capacité et consommation électrique ; – couple thermique équivalent ; – puissance ; – rapport de transmission.	S4
Concevoir et dimensionner une liaison mécanique.	Exigences techniques : – assemblage ; – guidage en rotation ; – guidage en translation. Critères de dimensionnement : – puissance, vitesse et effort ; – durée de vie ; – encombrement.	S4
Concevoir une pièce en optimisant le triptyque produit-procédés-matériaux.	Familles et propriétés des matériaux. Méthode de choix des matériaux et des procédés (fonction, objectif et contraintes). Indicateur de performances. Résistance et déplacement. Influence du procédé sur la géométrie du produit.	S4

Commentaires *Des bases de données et des outils logiciels associés permettent de conduire une analyse qualitative et quantitative en utilisant une démarche d'écoconception.* *Les critères économiques de sélection sont évoqués.* *Seule une connaissance des procédés figurant dans la compétence Réaliser peut être exigée.*

G – Réaliser

G1 – Réaliser tout ou partie d'un prototype

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Réaliser tout ou partie de la chaine de puissance.		S4
Intégrer les composants des chaines fonctionnelles dans un prototype.		
Implémenter et exécuter un programme sur une cible.		
Valider le fonctionnement du prototype.		
Commentaires *Ces compétences sont développées dans des activités de synthèse mobilisant des connaissances dans les différentes parties du programme.* *Les moyens de réalisation de l'établissement scolaire sont utilisés (par exemple les machines à commande numérique ou de prototypage rapide).* *Les compétences attendues sont limitées à :* *– la réalisation d'un prototype ;* *– l'intégration d'une carte de commande dans son environnement matériel.* *L'acquisition de savoir-faire professionnels est exclue.*		

G2 – Industrialiser un produit

Compétences développées	Connaissances associées	Semestre
Choisir et ordonnancer des procédés de fabrication du matériau à la pièce finie.	Critères de choix des procédés (forme du produit, matériau, coûts, taille de la série et impact environnemental).	S3
Commentaire *Des bases de données et des outils logiciels associés permettent de conduire une analyse qualitative et quantitative en utilisant une démarche d'écoconception.*		

Évaluer la capacité d'un procédé à réaliser une pièce plastique.	Injection plastique et procédés additifs. Domaines d'application. Règles de conception.	S2
Évaluer la capacité d'un procédé à réaliser une pièce composite.	Mise en forme des matériaux composites et procédés additifs. Domaines d'application. Règles de conception.	S2
Évaluer la capacité d'un procédé à réaliser une pièce métallique.	Mise en forme des bruts par déformation plastique, moulage et découpage. Procédés additifs. Assemblage par soudage. Traitements thermiques des aciers : – principes physiques ; – matériaux associés ; – caractéristiques mécaniques modifiées par les traitements volumiques (trempe, revenu et recuit) et surfaciques (trempe, cémentation et nitruration). Domaines d'application. Règles de conception.	S3
Commentaires *L'analyse des procédés se limite à une approche qualitative.* *La description des procédés et des matériaux associés s'appuie sur :* *– les phénomènes physiques associés aux procédés ;* *– les contraintes technologiques et économiques ;* *– l'influence du procédé sur la géométrie des pièces.* *Les traitements thermiques des aciers se limitent aux aspects fonctionnels. L'étude des phénomènes métallurgiques est exclue.*		

Évaluer la capacité d'un procédé à réaliser des opérations de finition.	Enlèvement de matière (principe de génération et cinématique). Choix de cinématique de machine. Choix des phases. Choix d'une mise en position.	S3
Commentaires *Pour les moyens d'usinage, la classification des machines à commande numérique est mise en évidence (tours 2 et 3 axes, centres d'usinage 3, 4 et 5 axes).* *La définition détaillée des phases de fabrication n'est pas au programme.* *Pour la mise en position, seul le symbole d'élimination d'un degré de liberté en translation est utilisé.*		

Contrôler la conformité géométrique et dimensionnelle d'un produit.	Dispositifs de contrôle. Nuages de points. Méthodes d'association.	S3
Commentaires *La réalisation des gammes de mesure n'est pas au programme.* *La métrologie tridimensionnelle se limite aux géométries suivantes : plan, cercle, droite et cylindre de révolution.*		