



CONSEIL SUPÉRIEUR
DES PROGRAMMES

Sciences de l'ingénieur

Cycle terminal, enseignement de spécialité

Sommaire

Préambule	3
■ <i>Les objectifs généraux</i>	3
■ <i>Une démarche scientifique affirmée</i>	4
■ <i>Un enseignement scientifique ambitieux pour préparer à l'enseignement supérieur</i>	4
■ <i>Des projets innovants mobilisant une approche design</i>	5
■ <i>Un enseignement contextualisé dans de grandes thématiques</i>	6
Programme	7
■ <i>Créer des produits innovants</i>	7
■ <i>Analyser les produits existants pour appréhender leur complexité</i>	9
■ <i>Modéliser les produits pour prévoir leurs performances</i>	12
■ <i>Valider les performances d'un produit par les expérimentations et les simulations numériques</i>	16
■ <i>S'informer, choisir, produire de l'information pour communiquer au sein d'une équipe ou avec des intervenants extérieurs</i>	18

Préambule

■ Les objectifs généraux

Les ingénieurs imaginent et mettent en œuvre des solutions innovantes pour répondre aux besoins des personnes, avec l'ambition de rendre accessible à tous les progrès qu'apportent quotidiennement les sciences et les technologies.

Les enjeux de société sont considérables et se situent à la conjonction d'évolutions rapides et inédites. Par exemple, la transformation et la consommation d'énergie, qui ne font qu'augmenter, s'accompagnent de fortes contraintes de préservation de l'environnement. La densification des métropoles interroge aussi profondément l'organisation de ces nouveaux territoires, notamment la mobilité intra et extra urbaine et l'ensemble des infrastructures associées. Ces évolutions, parmi les plus importantes, imposent d'imaginer des solutions alternatives à celles existantes.

De façon concomitante, la révolution numérique bouleverse les rapports entre les personnes et leur environnement, entre les êtres humains et les machines. Elle modifie également la relation entre les machines elles-mêmes, capables d'échanger de façon autonome des quantités considérables d'informations en communiquant via ce que l'on nomme l'internet des objets. Grâce au déploiement et à la puissance des réseaux de communication, chacun accède rapidement à de multiples services en réponse à ses besoins, le bénéfice de l'usage l'emportant sur la possession des objets. Cette nouvelle culture du partage développe des valeurs de solidarité et est l'expression d'une attention portée à la qualité de l'environnement qui sera laissée aux prochaines générations.

Les ingénieurs, au terme de leur formation, sont capables d'imaginer des solutions innovantes qui ne se limitent pas à la conception des objets réduits à la seule dimension matérielle. Ils proposent des solutions qui associent les dimensions matérielles et numériques, intégrées et complémentaires, non plus pensées successivement et séparément mais de façon simultanée.

Les sciences de l'ingénieur s'intéressent aux objets et aux systèmes artificiels, appelés de façon plus générique « produits ». Cette appellation de « produit » réunit sous un même terme l'objet matériel et son jumeau numérique. Il intègre le programme informatique utile à son fonctionnement et, lorsqu'elle est nécessaire, l'interface homme-machine connectée à un réseau de communication. Ces produits, supports d'activités des élèves au cycle terminal du lycée, répondent à des besoins et définissent des usages. Leurs définitions permettent de qualifier et de quantifier les performances du service attendu.

Ces solutions s'inscrivent dans un contexte fortement contraint par les enjeux sociaux, sociétaux et environnementaux, par la prise de décisions éthiques et responsables.

Avec la contribution des autres enseignements scientifiques, l'objectif de l'enseignement de spécialité de sciences de l'ingénieur du cycle terminal du lycée est de faire acquérir des compétences fondamentales qui permettent aux élèves de poursuivre vers les qualifications d'ingénieur dont notre pays a besoin.

■ Une démarche scientifique affirmée

L'approche en sciences de l'ingénieur mobilise une démarche scientifique reposant sur l'observation, l'élaboration d'hypothèses, la modélisation, la simulation et l'expérimentation matérielle ou virtuelle ainsi que l'analyse critique des résultats obtenus. Il s'agit de comprendre et de décrire les phénomènes mis en œuvre et les lois de comportement associées, pour qualifier et quantifier les performances du produit afin de vérifier si le besoin initialement défini est satisfait.

Les enseignements du cycle terminal installent progressivement la démarche de l'ingénieur qui consiste à comparer les différentes performances du cahier des charges avec celles mesurées ou simulées. Les élèves sont conduits à mettre en œuvre une analyse critique des résultats pour s'interroger sur leur validité, pour optimiser les modèles numériques et les objets matériels afin d'obtenir les performances attendues.

■ Un enseignement scientifique ambitieux pour préparer à l'enseignement supérieur

La contribution des STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) permet une appropriation des concepts scientifiques et technologiques par l'interdisciplinarité.

L'enseignement de sciences de l'ingénieur intègre des contenus propres aux sciences physiques. De plus, en classe de terminale, les élèves ayant choisi l'enseignement de spécialité sciences de l'ingénieur bénéficient de deux heures de sciences physiques enseignées par un professeur de physique-chimie. Ces deux heures sont dédiées aux aspects fondamentaux de sciences physiques.

Les champs abordés en sciences de l'ingénieur recouvrent le large spectre scientifique et technologique des champs de la mécanique, de l'électricité et du signal, de l'informatique et du

numérique. Les simulations multi-physiques sont largement exploitées pour appréhender les performances des produits en établissant des liens entre ces différents champs.

Ainsi, les élèves qui choisissent l'enseignement de spécialité sciences de l'ingénieur en classe terminale développent les compétences attendues pour une orientation vers l'enseignement supérieur scientifique.

■ Des projets innovants mobilisant une approche design

La conduite de projet est inhérente à l'activité des ingénieurs, elle est menée en équipe et nécessite de mettre en place des stratégies d'ingénierie collaborative.

L'approche design induit l'innovation et questionne les fonctionnalités et les formes d'un produit en lien avec ses usages dans des environnements les plus divers. Elle exploite les possibilités offertes par les technologies du numérique. Les ingénieurs sont alors créateurs d'une réalité virtuelle et matérielle. Ces deux réalités s'enrichissent mutuellement en mobilisant le concept de jumeau numérique.

Au cours de la classe de première, un projet de 12 heures mené en équipe permet aux élèves d'imaginer et de matérialiser tout ou partie d'une solution originale. Ce projet peut être commun à toutes les équipes d'une même classe ou d'un établissement sous la forme d'un défi.

En classe de terminale, un projet de 48 heures conduit en équipe est proposé à tous les élèves. L'objectif est d'imaginer tout ou partie d'un produit, développé sous forme de réalisations numérique et matérielle en vue de répondre à un besoin et d'obtenir des performances clairement définies. Ces réalisations matérialisent tout ou partie d'une solution imaginée associée à un modèle numérique. Elles permettent de simuler et de mesurer expérimentalement des performances et de les valider. Une partie de programmation est nécessairement associée au projet. Elle peut prendre la forme d'une application qui installe le produit dans un environnement communicant.

Parmi les productions attendues, chaque équipe rédige obligatoirement une note interdisciplinaire. Limitée à quelques pages, cette note développe un point des programmes du cycle terminal d'enseignement de sciences physiques et de l'autre enseignement de spécialité, en montrant comment les notions liées à ces disciplines sont mobilisées dans le projet.

Ce projet sert de support aux élèves qui choisissent les sciences de l'ingénieur pour soutenir l'épreuve orale terminale.

Pour mener à bien ce projet, les élèves disposent d'outils de prototypage accessibles dans des laboratoires de type *laboratoire de fabrication* (ou *Fablab*, espace partagé d'échanges, de recherche et de fabrication, doté d'outils numériques et technologiques), mettant à disposition l'ensemble des ressources matérielles et numériques nécessaires.

■ Un enseignement contextualisé dans de grandes thématiques

L'enseignement de sciences de l'ingénieur mobilise des supports d'enseignement empruntés au monde contemporain.

Les thématiques proposées ne sont pas exhaustives. Elles sont représentatives de problématiques actuelles et permettent d'illustrer les enseignements dans toutes leurs modalités pédagogiques : cours, activités dirigées, activités pratiques et projets.

- **Les territoires et les produits intelligents, la mobilité des personnes et des biens :**
 - les structures et les enveloppes ;
 - les réseaux de communication et d'énergie ;
 - les objets connectés, l'internet des objets ;
 - les mobilités des personnes et des biens.
- **L'homme assisté, réparé, augmenté :**
 - les produits d'assistance pour la santé et la sécurité ;
 - l'aide et la compensation du handicap ;
 - l'augmentation des performances du corps humain.
- **Le design responsable et le prototypage de produits innovants :**
 - l'ingénierie design de produits innovants ;
 - le prototypage d'une solution imaginée en réalité matérielle ou virtuelle ;
 - les applications numériques nomades.

Programme

Dans les tableaux ci-dessous, une indication précise le positionnement des enseignements dans le cycle.

L'indication « 1^e » signifie que les contenus doivent être acquis et sont évalués à la fin de la classe de première, mais qu'ils peuvent être remobilisés en classe de terminale.

L'indication « T^{ale} » signifie que les contenus peuvent être développés sur l'ensemble du cycle et être acquis en fin de cycle.

L'évaluation de fin de cycle porte sur l'ensemble du programme des deux années.

■ Créer des produits innovants

Au XXI^e siècle, dans des contextes fortement évolutifs, la compétitivité des entreprises et l'efficience des administrations sont liées à leur capacité à innover de façon permanente. La formation des futurs ingénieurs doit stimuler leur créativité, les préparer à une disposition d'esprit propice à l'innovation et aborder des méthodes de recherche créative et d'organisation de projet.

Créer des produits innovants mobilise l'ensemble des compétences du cycle terminal de sciences de l'ingénieur.

Au cycle terminal, les élèves sont invités à proposer des solutions nouvelles sur des problématiques simples mais aussi des évolutions de solutions existantes pour prendre en compte une rupture technologique ou une évolution des attentes des clients.

Les solutions s'attachent à définir les aspects fonctionnel et esthétique en vue d'élaborer un prototype. La viabilité économique ainsi que l'industrialisation du produit seront abordées au cours des études supérieures.

Au terme de la formation du cycle terminal, les élèves ont acquis de bonnes pratiques en termes de veille technologique et de questionnement permanent. Ils proposent des solutions nouvelles, fruits d'une démarche organisée et collective. Ils sont capables de l'expliquer, de la décrire par des schémas, et de convaincre un auditoire de sa pertinence.

La compétence « innover » est essentiellement développée dans les activités de projet.

Ainsi, à l'issue du cycle terminal, les élèves sont évalués sur leurs compétences à :

- proposer tout ou partie d'une nouvelle solution sous forme virtuelle ou matérielle à partir d'un nouveau concept de produit ou d'un produit existant et susceptible d'évoluer ;
- matérialiser la solution réalisable avec des outils de prototypage intégrés dans une chaîne numérique.

INNOVER		
<i>Compétences développées</i>	<i>Connaissances associées</i>	<i>Classe</i>
Rompre avec l'existant Améliorer l'existant	Éléments d'histoire des innovations et des produits	1 ^e
Élaborer une démarche globale d'innovation	Méthodes agiles Approche <i>design</i> , apports et limites Veille technologique	T ^{ale}
Imaginer une solution originale, appropriée et esthétique	Cartes heuristiques Méthodes de <i>brainstorming</i> , d'analogies, de détournement d'usage Scénarios d'usage et expériences utilisateurs Design d'interface et d'interaction Éléments d'ergonomie	1 ^e
Représenter une solution originale	Outil numérique graphique Modeleur volumique	T ^{ale}
Matérialiser une solution virtuelle	Mise en œuvre d'outils de prototypage rapide Prototypage de la commande	T ^{ale}
Évaluer une solution	Mesures et tests des performances de tout ou partie de la solution innovante Amélioration continue	T ^{ale}

<i>Contexte</i>
Les éléments d'histoire sont contextualisés par un exemple circonscrit à l'un des éléments d'une thématique. Cela permet d'illustrer des processus d'innovation de rupture ou d'innovation incrémentale.

La compétence « Innover » se développe de façon privilégiée dans la démarche de projet. Les connaissances associées aux « méthodes agiles » et à l’« approche *design* » se limitent à quelques éléments méthodologiques.

Les méthodes mises en œuvre pour imaginer des solutions originales conduisent à l’élaboration de croquis et de schémas.

Les élèves ont à disposition des équipements matériels et numériques disponibles dans un espace de type « *FabLab* ».

■ Analyser les produits existants pour appréhender leur complexité

La société attend des ingénieurs qu’ils lui proposent des solutions nouvelles pour répondre aux besoins émergents. La capacité à proposer des solutions innovantes repose en partie sur une analyse des solutions existantes et des enjeux de société associés. Ainsi les ingénieurs sont capables de mener une analyse structurée des produits et d’utiliser une base de connaissances scientifiques et technologiques.

À partir des prérequis installés au collège et des enseignements scientifiques communs en classe de seconde, le cycle terminal approfondit de façon qualitative l’analyse des produits d’une complexité croissante et quantifie les performances attendues. Il permet de constituer une large base de connaissances scientifiques et technologiques.

Ainsi, à l’issue du cycle terminal, les élèves sont évalués sur leurs compétences à analyser :

- l’organisation fonctionnelle et matérielle d’un produit ;
- les échanges d’énergie, les transmissions de puissance, les échanges et le traitement des informations ;
- les écarts entre les performances attendues, simulées ou mesurées.

ANALYSER		
<i>Compétences développées</i>	<i>Connaissances associées</i>	<i>Classe</i>
Analyser le besoin, l’organisation matérielle et fonctionnelle d’un produit par une démarche	Outils d’ingénierie-système : diagrammes fonctionnels, définition des exigences et des critères associés, cas d’utilisations, analyse structurelle	1 ^e

d'ingénierie système		
Caractériser la puissance et l'énergie nécessaire au fonctionnement d'un produit ou d'un système Repérer les échanges d'énergie sur un diagramme structurel	Grandeurs physiques (mécanique, électrique, thermique ...) mobilisées par le fonctionnement d'un produit Grandeurs d'effort et de flux liées à la nature des procédés Rendements et pertes	1 ^e
Analyser la réversibilité d'un élément de la chaîne de puissance	Sens des transmissions de puissance Stockage de l'énergie Réversibilité/irréversibilité des constituants d'une chaîne de puissance	T ^{ale}
Analyser le traitement de l'information	Algorithme, programme Langage informatique Notions sur l'intelligence artificielle	T ^{ale}
Analyser le comportement d'un objet à partir d'une description à événements discrets	Diagramme états-transitions Algorithme	T ^{ale}
Analyser et caractériser les échanges d'information d'un système avec un réseau de communication	Architecture Client/Serveur, <i>cloud</i> Architecture des réseaux de communication Débit/vitesse de transmission	T ^{ale}
Analyser les principes de modulation et démodulation numériques	Internet des objets Notions de modulation-démodulation de signaux numériques en amplitude, en fréquence	T ^{ale}
Analyser les principaux protocoles pour un réseau de communication et les supports matériels	Protocoles, trames, encapsulation Support filaire et sans fil	1 ^e
Analyser le comportement d'un système asservi	Systèmes asservis linéaires en régime permanent : structures par chaîne directe ou bouclée, perturbation, comparateur, correcteur proportionnel, précision (erreur statique)	T ^{ale}
Analyser les charges appliquées à un ouvrage ou	Charge permanente, charge d'exploitation	T ^{ale}

une structure		
Analyser des résultats d'expérimentation et de simulation	<p>Lois physiques associées au fonctionnement d'un produit</p> <p>Description qualitative et quantitative des grandeurs physiques caractéristiques du fonctionnement d'un produit</p> <p>Critères de performances</p>	T ^{ale}
Quantifier les écarts de performances entre les valeurs attendues, les valeurs mesurées et les valeurs obtenues par simulation	<p>Écarts de performance absolu ou relatif, et interprétations possibles</p> <p>Erreurs et précision des mesures expérimentales ou simulées</p> <p>Traitement des données : tableaux, graphiques, valeurs moyennes, écarts types, incertitude de mesure</p> <p>Choix pertinent d'un ou plusieurs critères de comparaison</p>	1 ^e
Rechercher et proposer des causes aux écarts de performances constatés		
Valider les modèles établis pour décrire le comportement d'un objet	Analyse des écarts de performances	T ^{ale}

Contexte

L'outil d'ingénierie système actuellement proposé est le SysML. L'enseignement des outils de description de type SysML n'est pas une finalité et doit se limiter aux bases strictement nécessaires.

Les supports d'étude sont pluri-technologiques et multi-physiques, ils peuvent aussi être une structure, une enveloppe ou un ouvrage.

La puissance instantanée est caractérisée par le produit d'une grandeur d'effort (force, couple, pression, tension, etc.) par une grandeur de flux (vitesse, vitesse angulaire, débit, intensité du courant, etc.).

L'intelligence artificielle est présentée dans une approche simplifiée (*machine learning*, moteur d'inférence), du type de relation entrées/sorties. Celle-ci est purement applicative sans entrer dans les détails des outils mathématiques. Elle est abordée sous la forme d'activités dirigées de simulation.

Les flux d'information liés aux échanges entre un produit et son environnement numérique sont caractérisés en termes de quantité de données et de vitesse de transmission. Les objets communicants connectés et » l'internet des objets » sont propices à ce type d'étude.

Le langage informatique actuellement proposé est Python. De façon complémentaire, d'autres langages peuvent être présentés afin de sensibiliser les élèves à la diversité des langages informatiques.

L'analyse des modulations-démodulations numériques est abordée de façon qualitative. Elle est fondée sur les résultats issus de simulations multi-physiques.

■ Modéliser les produits pour prévoir leurs performances

La création de produits technologiques a pour objectif de répondre à des besoins et d'obtenir des performances préalablement définies. Les ingénieurs, pour prévoir les performances des solutions développées, construisent des modèles. Ils disposent pour cela des outils numériques, logiciels multi-physiques associés à des modeleurs volumiques. Cela permet de construire des modèles à partir d'une organisation fonctionnelle et matérielle existantes ou imaginées.

Ils disposent aussi d'outils théoriques leur permettant d'établir des équations de comportement de tout ou partie du produit.

Pour les élèves du cycle terminal, la résolution des équations issues de la modélisation est conduite à l'aide d'outils numériques. Dans les cas les plus simples, une résolution analytique peut être menée. Elle ne sera réalisée que si elle présente un intérêt pédagogique à l'acquisition et à la compréhension de la démarche scientifique, des lois et concepts associés.

La résolution des équations de comportement et la simulation numérique des modèles multi-physiques permettent de prévoir les grandeurs associées aux performances attendues.

Ainsi, à l'issue du cycle terminal, les élèves sont évalués sur leurs compétences à :

- construire un modèle multi-physique d'un objet par association de composants numériques issus d'une bibliothèque, en connaissant la constitution de l'objet matériel ou de sa maquette numérique ;
- construire un modèle de composant ou d'une association de composants à partir des lois physiques, en établissant les équations analytiques du comportement ;
- résoudre les équations issues de la modélisation en vue de caractériser les performances d'un objet.

MODÉLISER ET RÉSoudRE		
Compétences développées	Connaissances associées	Classe
Proposer et justifier des hypothèses ou simplification en vue d'une modélisation	Hypothèses simplificatrices Modélisation plane	1 ^e
Caractériser les grandeurs physiques en entrées/sorties d'un modèle multi-phérique traduisant la transmission de puissance	Grandeur effort, grandeur flux Énergie Puissance instantanée, moyenne Réversibilité de la chaîne de puissance	1 ^e
Associer un modèle aux composants d'une chaîne de puissance	Sources parfaites de flux et d'effort Interrupteur parfait Modèle associé aux composants élémentaires de transformation, de modulation, de conversion ou de stockage de l'énergie	1 ^e
Traduire le comportement attendu ou observé d'un objet	Comportement séquentiel Structures algorithmiques (variables, fonctions, structures séquentielles, itératives, répétitives, conditionnelles) Diagramme d'états-transitions	1 ^e
Traduire un algorithme en un programme exécutable	Langage de programmation	T ^{ale}
Modéliser sous une forme graphique une structure, un mécanisme ou un circuit	Circuit électrique Schéma cinématique Graphe de liaisons et des actions mécaniques	1 ^e
Modéliser les mouvements Modéliser les actions mécaniques	Trajectoires et mouvement Liaisons Torseurs cinématiques et d'actions mécaniques transmissibles, de contact ou à distance Réciprocité mouvement relatif/actions mécaniques associées	1 ^e
Caractériser les échanges d'informations	Natures et caractéristiques des signaux, des données, des supports de communication	1 ^e

	Protocole, trame Débit maximal, débit utile	
Associer un modèle à un système asservi	Capteurs	1 ^e
	Notion de système asservi : consigne d'entrée, grandeur de sortie, perturbation, erreur, correcteur proportionnel	T ^{ale}
Utiliser les lois et relations entre les grandeurs effort et flux pour élaborer un modèle de connaissance	Modèle de connaissance sur des systèmes d'ordre 0, 1 ou 2 : gain pur, intégrateur, déivateur	T ^{ale}
Déterminer les grandeurs flux (courant) et effort (tension) dans un circuit électrique	Lois de Kirchhoff Lois de comportement	1 ^e
Déterminer les actions mécaniques (inconnues statiques de liaisons ou action mécanique extérieure) menant à l'équilibre statique d'un mécanisme, d'un ouvrage ou d'une structure	Principe fondamental de la statique Modèle de frottement – Loi de Coulomb	T ^{ale}
Déterminer les grandeurs géométriques et cinématiques d'un mécanisme	Positions, vitesses et accélérations linéaire et angulaire sous forme vectorielle Champ des vitesses Composition des vitesses dans le cas d'une chaîne ouverte Loi d'entrée/sortie d'un mécanisme dans le cas d'une chaîne fermée (fermeture géométrique)	1 ^e
Déterminer la grandeur flux (vitesse linéaire ou angulaire) lorsque les actions mécaniques sont imposées	Principe fondamental de la dynamique Solide en rotation autour d'un axe fixe dont le centre de gravité est sur l'axe de rotation	T ^{ale}
Déterminer la grandeur effort (force ou couple) lorsque le mouvement souhaité est imposé	Notion d'inertie et d'inertie équivalente Solide en translation rectiligne	
Quantifier les performances d'un objet réel ou imaginé en résolvant les équations qui décrivent le	Méthodes de résolution analytique et numérique	T ^{ale}

Contexte

Les connaissances associées dans les différents champs disciplinaires visent à apporter les bases nécessaires à la poursuite d'études supérieures scientifiques. Sont précisés de manière indicative les éléments suivants.

Mécanique du point :

- bases, repères et référentiels ;
- fermeture géométrique ;
- dérivée d'un vecteur position exprimé dans la base de dérivation ;
- principe fondamental de la dynamique.

Mécanique du solide :

- torseur cinématique, composition des mouvements ;
- force appliquée en un point, couple, action de la pesanteur, torseurs d'action mécanique transmissible dans les liaisons, frottements sec et visqueux ;
- principe fondamental de la dynamique pour les mouvements de translation et de rotation autour d'un axe fixe.

Électrocinétique :

- résistance, inductance, condensateur, interrupteurs parfaits de type diode et transistors ;
- sources parfaites continues, sources alternatives, systèmes monophasé et triphasé ;
- notion de période, de fréquence, d'amplitude, de valeur moyenne et efficace ;
- lois de Kirchhoff ;
- principe de superposition.

Énergétique :

- énergie cinétique, énergie potentielle ;
- rendement, puissance instantanée, puissance moyenne ;
- bilan d'énergie, conservation d'énergie.

Informatique :

- variables, fonctions, structures séquentielles, itératives, répétitives, conditionnelles
- programmation évènementielle (interface graphique) ;
- protocoles standards de communication des objets dits intelligents (LoRa) ;
- bus de communication et réseaux, clients et serveurs ;
- diagramme états-transitions (automates).

La modélisation des actions mécaniques s'applique aux mécanismes, structures et ouvrages.

Les méthodes graphiques peuvent être utilisées, mais leur maîtrise n'est pas exigée.

■ Valider les performances d'un produit par les expérimentations et les simulations numériques

Pour valider les performances d'un produit, les ingénieurs réalisent des expérimentations et des essais. Ils permettent d'obtenir des valeurs expérimentales de performances à partir du fonctionnement du produit réel.

Par ailleurs, les ingénieurs simulent le fonctionnement d'un produit à l'aide d'outils logiciels qui exploitent les modèles numériques. Les simulations mobilisant les modèles numériques atteignent un haut degré de fiabilité. Elles permettent de réaliser des essais virtuels sur un jumeau numérique qui sont comparables à des expérimentations sur un objet matériel, voire d'effectuer des mesures qui seraient inaccessibles, impossibles ou dangereuses sur l'objet matériel.

La comparaison des écarts entre les résultats de simulation, d'expérience et les niveaux attendus est aussi source de multiples réflexions quant à la pertinence du modèle, la pertinence du protocole expérimental ou encore la validité de la solution au regard du cahier des charges.

Ainsi, à l'issue du cycle terminal, les élèves sont évalués sur leurs compétences à :

- proposer et mettre en œuvre un protocole expérimental permettant de quantifier les performances de tout ou partie d'un objet matériel ;
- proposer et mettre en œuvre des outils de simulation numérique permettant de quantifier les performances de tout ou partie d'un jumeau numérique ;
- mettre en œuvre un protocole afin de valider les échanges d'informations entre objets à travers un réseau de communication ;
- simuler le fonctionnement d'un produit à l'aide d'un modèle numérique en vue d'en caractériser les performances.

EXPÉRIMENTER ET SIMULER		
<i>Compétences développées</i>	<i>Connaissances associées</i>	<i>Classe</i>
Prévoir l'ordre de grandeur de la mesure	Gamme d'appareils de mesure et capteurs	1 ^e
Identifier les erreurs de mesure		
Conduire des essais en toute	Règle de raccordement des appareils de	1 ^e

sécurité à partir d'un protocole expérimental fourni	mesure et des capteurs	
Proposer et justifier un protocole expérimental		T ^{ale}
Instrumenter tout ou partie d'un produit en vue de mesurer les performances	Capteurs, composants d'une chaîne d'acquisition Paramétrage d'une chaîne d'acquisition Carte micro - contrôleur	T ^{ale}
Mettre en œuvre une communication entre objets dits intelligents	Paramètres de configuration d'un réseau	T ^{ale}
Relever les grandeurs caractéristiques d'un protocole de communication	Caractéristiques des signaux Protocole, trame Débit maximal, débit utile	1 ^e
Modifier les paramètres influents et le programme de commande en vue d'optimiser les performances du produit	Processus itératif d'amélioration des performances	T ^{ale}
Mettre en œuvre une simulation numérique à partir d'un modèle multi-physique pour qualifier et quantifier les performances d'un objet réel ou imaginé	Paramètres de simulation : durée, incrément temporel, choix des grandeurs affichées, échelles adaptées à l'amplitude et la dynamique des grandeurs simulées	T ^{ale}
Valider un modèle numérique de l'objet simulé	Écarts entre les performances simulées et mesurées Limites de validité d'un modèle	T ^{ale}

Contexte

Les produits supports des expérimentations sont multi-physiques. Ils peuvent également être une structure ou un ouvrage.

Les expérimentations peuvent s'effectuer sur tout ou partie du produit matériel ou son jumeau numérique. L'implantation de blocs de mesure préconfigurés (fournis dans des bibliothèques logicielles intégrées) dans un modèle multi-physique est à développer particulièrement.

L'usage pédagogique des smartphones ou des tablettes numériques est possible, notamment

pour leurs capacités d'acquisitions de grandeurs physiques ainsi que pour l'interfaçage homme-machine.

■ S'informer, choisir, produire de l'information pour communiquer au sein d'une équipe ou avec des intervenants extérieurs

Les ingénieurs communiquent avec de nombreuses personnes. Ils échangent avec des non spécialistes pour comprendre leur besoin ainsi qu'avec de nombreux intervenants au sein de l'entreprise et avec des partenaires.

Les ingénieurs sélectionnent des informations pertinentes, ils produisent et présentent des informations relatives à leur activité.

Les ingénieurs proposent des solutions innovantes qu'ils présentent de façon argumentée pour convaincre partenaires et décideurs.

Ainsi, à l'issue du cycle terminal, les élèves sont évalués sur leurs compétences à :

- rechercher, traiter et organiser des informations ;
- choisir et produire un support de communication via un média adapté ;
- argumenter et adapter les stratégies de communication au contexte ;
- travailler de manière collaborative en présentiel ou à distance.

COMMUNIQUER		
<i>Compétences développées</i>	<i>Connaissances associées</i>	<i>Classe</i>
Présenter un protocole, une démarche, une solution en réponse à un besoin Présenter et formaliser une idée	Diagrammes fonctionnels, schémas, croquis	T ^{ale}
Rendre compte de résultats	Tableau, graphique, diaporama, carte mentale	1 ^e
Collecter et extraire des données Comparer, traiter, organiser et synthétiser les informations	ENT, moteurs de recherche, internet, blog, base de données, dossiers techniques	1 ^e

pertinentes.		
Documenter un programme informatique	Commentaires de programmes	T ^{ale}
Développer des tutoriels, établir une communication à distance	Montage audio / vidéo	1 ^e
Travailler de manière collaborative Trouver un tiers expert Collaborer en direct ou sur une plateforme, via un espace de fichiers partagés	Espaces partagés et de stockage, ENT	1 ^e
Adapter sa communication au public visé et sélectionner les informations à transmettre Scénariser un document suivant le public visé	Média, outils multimédia, outils bureautiques, carte mentale, diagramme de l'ingénierie-système, schéma, croquis, prototype	1 ^e
Communiquer de façon convaincante	Placement de la voix, qualité de l'expression, gestion du temps	T ^{ale}

Contexte

Les normes des croquis et schémas ne font pas l'objet de cours spécifiques et sont mis à disposition des élèves.

La communication est une finalité liée à l'ensemble des activités et au projet. Elle sera à favoriser dès que possible.

Le travail collaboratif est un axe majeur dans l'activité des ingénieurs.