

Annexe 4

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

La filière ATS **ingénierie industrielle** est une classe préparatoire aux grandes écoles d'ingénieurs pour des étudiants titulaires d'un BTS ou d'un DUT scientifique ou technologique. Le programme de sciences industrielles de l'ingénieur s'inscrit dans une volonté d'adaptation aux enseignements dispensés dans les grandes écoles et plus généralement aux poursuites d'études universitaires. Il est conçu pour renforcer, approfondir et élargir leur formation générale, scientifique et technologique. Cette formation se fait en une année, non seulement pour poursuivre avec succès un cursus d'ingénieur, de chercheur, d'enseignant, de scientifique, mais aussi pour permettre de se former tout au long de la vie. Les programmes de la filière ATS **ingénierie industrielle** ont été écrits de façon concertée et avec une volonté de cohérence transversale. Comme pour les autres disciplines, celui de sciences industrielles de l'ingénieur fait apparaître des renvois vers les mathématiques, la physique et l'informatique.

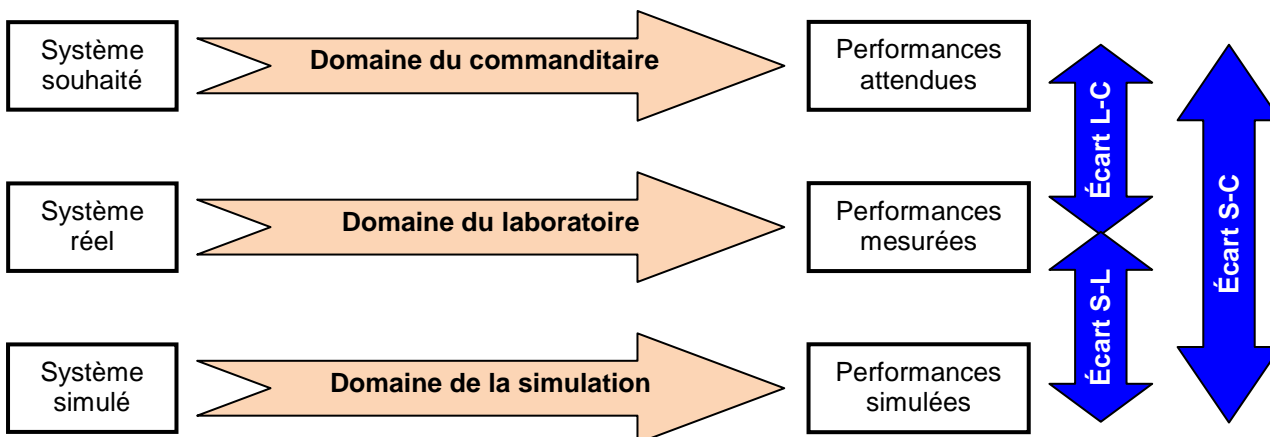
I. Objectifs de formation**1.1 Finalités**

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

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

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

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



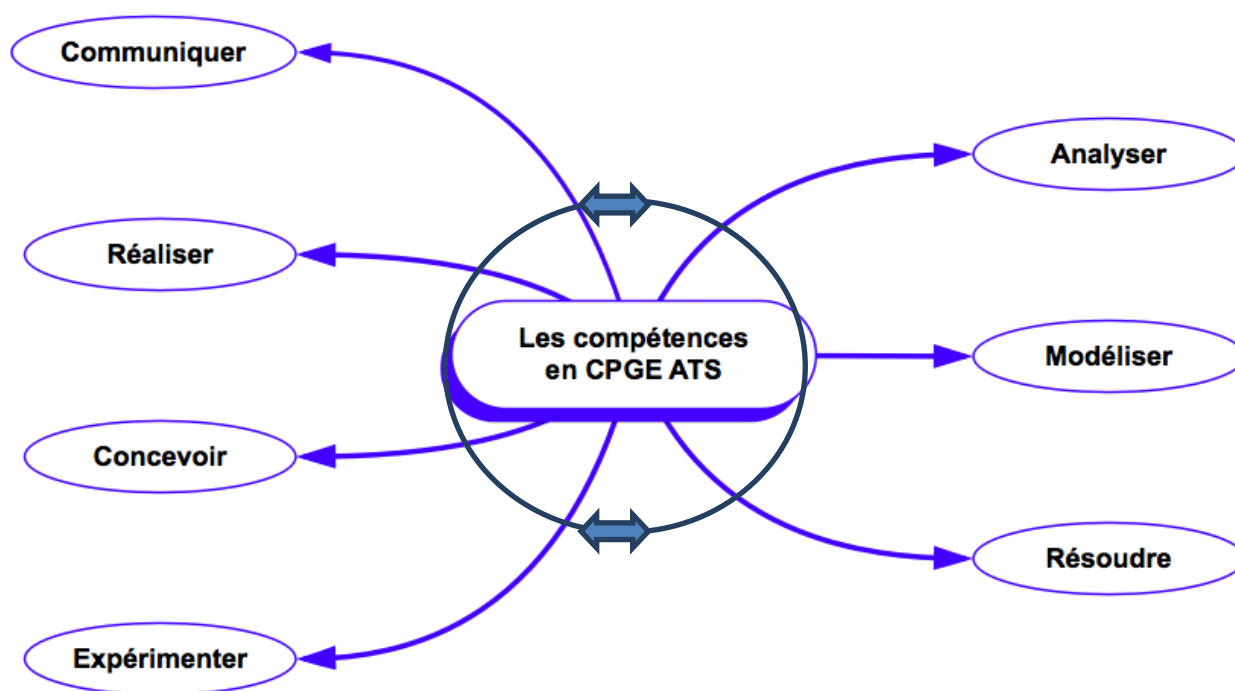
L'identification et l'analyse des écarts mobilisent des compétences transversales qui sont développées en particulier en mathématiques et en physique. Les sciences industrielles de l'ingénieur constituent un vecteur de coopération interdisciplinaire et participent à la poursuite d'études dans l'enseignement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

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

Les technologies de l'information et de la communication sont systématiquement mises en œuvre dans l'enseignement. Elles accompagnent toutes les activités proposées, individuelles et en équipe, et s'inscrivent naturellement dans le contexte collaboratif d'un environnement numérique de travail (ENT).

1.2 Objectifs généraux

À partir de systèmes industriels placés dans leur environnement technico-économique, l'organisation du programme, qui est décliné en compétences associées à des connaissances et savoir-faire, est présentée ci-dessous :



Les compétences développées en sciences industrielles de l'ingénieur forment un tout cohérent, en relation directe avec la réalité industrielle qui entoure l'étudiant. Couplées à la démarche de l'ingénieur, elles lui permettent d'être sensibilisé aux travaux de recherche, de développement et d'innovation.

Analyser permet des études fonctionnelles, structurelles et comportementales des systèmes, conduisant à la compréhension de leur fonctionnement et à une justification de leur architecture. Via les activités expérimentales, elles permettent d'acquérir une culture des solutions industrielles qui facilitent l'appropriation de tout système nouveau. Cette approche permet de fédérer et assimiler les connaissances présentées dans l'ensemble des disciplines scientifiques et technologiques de classes préparatoires aux grandes écoles.

Modéliser permet d'appréhender le réel et d'en proposer, après la formulation d'hypothèses, une représentation graphique, symbolique ou équationnelle, pour comprendre son fonctionnement, sa structure et son comportement. Le modèle retenu permet des simulations afin d'analyser, de vérifier, de prévoir et d'améliorer les performances d'un système.

Résoudre permet de donner la démarche pour atteindre de manière optimale un résultat. La résolution peut être analytique ou numérique. L'outil de simulation numérique permet de prévoir les performances de systèmes complexes en s'affranchissant de la maîtrise d'outils mathématiques spécifiques.

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

Concevoir permet à l'étudiant d'imaginer un produit conforme aux exigences d'un cahier des charges à partir d'un système réel ou d'une maquette virtuelle, notamment dans le cadre des mini-projets. Les modalités pédagogiques spécifiques liées à la résolution de problèmes et à la recherche documentaire sont mises en œuvre.

Réaliser permet à l'étudiant des réalisations partielles à l'aide d'un prototypage rapide et d'effectuer certains contrôles de conformité au travers d'expérimentations, notamment dans le cadre des mini-projets.

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

1.3 Usage de la liberté pédagogique

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

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

II. Organisation de l'enseignement

2.1 Activités proposées

L'enseignement des sciences industrielles de l'ingénieur doit être centré sur les activités de modélisation, de travaux pratiques (TP) à partir des systèmes présents dans le laboratoire et de mini-projets. Les TP et les mini-projets sont organisés par groupe de 15 étudiants au maximum dans le laboratoire de sciences industrielles de l'ingénieur.

Les activités de modélisation nécessitent de la part du ou des enseignants de sciences industrielles de l'ingénieur en CPGE de prévoir des travaux pratiques qui ont pour objectif de développer des aptitudes spécifiques, complémentaires de celles qui sont valorisées dans les autres disciplines. Ils permettent :

- d'acquérir une opérationnalité dans la démarche ingénieur, c'est-à-dire de développer les compétences nécessaires pour analyser et concevoir un système complexe ;
- de consolider les connaissances et la maîtrise des outils vus en cours et en TD ;
- de découvrir la réalité des solutions industrielles, et de développer le sens de l'observation, le goût du concret et la prise d'initiative et de responsabilité.

Les mini-projets sont des travaux incluant un temps d'analyse, de propositions de solutions puis de validation à l'aide de simulations, d'expérimentations ou de mise en œuvre avec des techniques de prototypages rapides. Les activités sont encadrées mais une autonomie importante sera recherchée. Chaque séance donne lieu à la rédaction d'une note de synthèse par les étudiants qui doit traduire l'avancement des travaux et les difficultés rencontrées. Cette synthèse est analysée par le ou les professeurs de sciences industrielles de l'ingénieur. Les conclusions de cette analyse guident la progression pédagogique qui doit être élaborée à partir des compétences à faire acquérir aux étudiants.

Les activités proposées à l'occasion des mini-projets peuvent être :

- des travaux de modélisation portant sur des systèmes complexes réels ;
- des travaux de simulation portant sur des systèmes complexes réels ;
- des travaux d'essais et de mesures sur des systèmes existants soit au laboratoire, soit accessibles en ligne ;
- des modifications concernant des lois de commande destinées à des systèmes existants dans le laboratoire ;
- la rédaction de procédures de réglage ou de mesures.

L'ensemble de ces activités doit renforcer les acquis scientifiques et technologiques, l'autonomie des étudiants, les facultés de prise de décisions et favoriser la gestion de projet en équipe. L'articulation de l'enseignement autour des activités de TP et de mini-projets est imposée.

L'objectif de la formation consiste à réduire les différences de maîtrise des compétences, qui sont constatées à l'entrée en ATS ingénierie industrielle. Dans ces conditions, l'enseignement de sciences industrielles de l'ingénieur comporte deux périodes de formation différentes. La première période est une période de mise à niveau qui permet d'assurer une pédagogie par projets dispensée durant la seconde période.

Durant la première période (de septembre à janvier), l'hétérogénéité de l'origine des étudiants impose une répartition en trois groupes qui recevront un enseignement différencié : un groupe avec une sensibilité génie électrique (GE), un groupe avec une sensibilité génie mécanique (GM) et un troisième groupe (AU) regroupant les formations plus spécifiques des sciences industrielles de l'ingénieur (génie civil, mesures physiques, génie thermique et énergétique, géomètre topographe, fluide énergie, construction et autres formations « rares »).

Les cours et TD sont articulés autour de cycles de travaux pratiques de trois ou quatre séances, suivies d'une séance de synthèse, centrées sur une problématique claire et précise, associée à des compétences à faire acquérir aux étudiants.

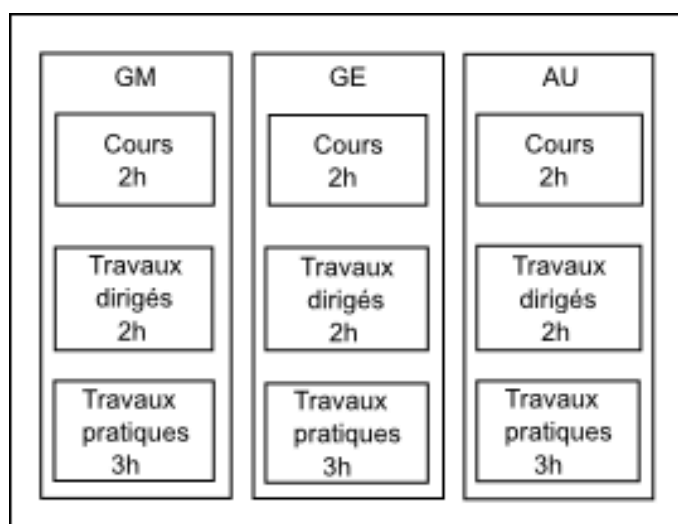
Durant la seconde période (à partir de janvier), l'enseignement est articulé autour de mini-projets d'une durée de 2 à 4 semaines associant des équipes mixtes issues des trois groupes.

La répartition hebdomadaire des horaires est décrite ci-dessous.

2.2 Organisation pendant la première période de l'année

Il existe trois groupes qui fonctionnent en parallèle (un groupe GE, un groupe GM et un groupe AU). Chaque groupe se voit proposer un enseignement adapté (2 h de cours, 2 h de TD et 3 h de TP). La différenciation peut porter sur les niveaux d'approfondissement, les contenus ou les modalités pédagogiques mises en œuvre.

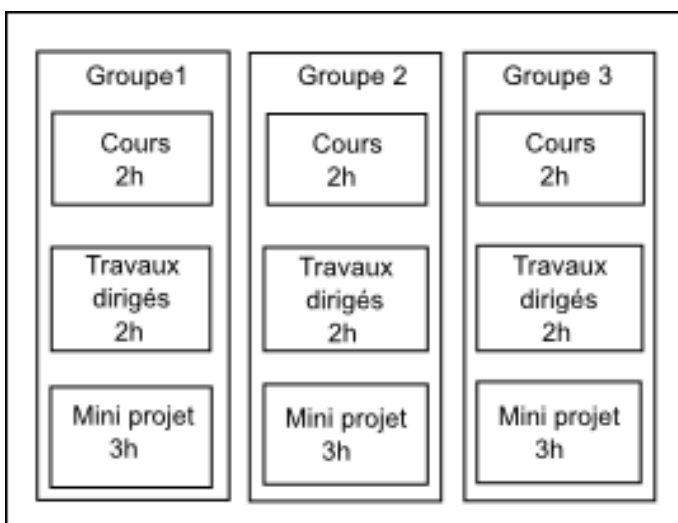
1^{re} période



2.3 Organisation pendant la seconde période de l'année

Il existe trois groupes pédagogiques constitués d'étudiants issus des trois groupes de la première période (GE, GM et AU). Chaque groupe pédagogique se voit proposer un enseignement de sciences industrielles de l'ingénieur (2 h de cours, 2 h de TD et 3 h de mini-projets) articulé autour de mini-projets différenciés. Les mini-projets, sous la responsabilité du ou des professeurs de sciences industrielles de l'ingénieur, sont réalisés par des équipes mixtes de trois à cinq étudiants issus des trois groupes de la première période (GE, GM et AU).

2^e période



III. Programme

3.1 Présentation

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

Dans les tableaux décrivant les compétences, la colonne « P » précise la période 1 ou 2 souhaitée pour développer chaque compétence. Les trois colonnes suivantes indiquent un niveau d'entrée en fonction du champ du diplôme obtenu : génie électrique (GE), génie mécanique (GM), autre (AU). La dernière colonne correspond au niveau requis à la sortie pour les concours (S).

Les tableaux liés aux compétences n'ont pas pour objet de définir une progression pédagogique. Les connaissances et les savoir-faire associés sont répartis selon une progression organisée en deux périodes. Lorsqu'ils sont positionnés en période 1, cela signifie :

- qu'ils doivent être acquis en fin de période 1 ;
- qu'ils peuvent être utilisés en période 2.

Lorsqu'une connaissance et le(s) savoir-faire associé(s) sont positionnés en période 2, cela signifie qu'ils peuvent être introduits au cours de la période 1.

La diversité des outils existants pour décrire les systèmes pluri-technologiques rend difficile la communication et la compréhension au sein d'une équipe regroupant des spécialistes de plusieurs disciplines. Il est indispensable d'utiliser des outils compréhensibles par tous et compatibles avec les spécificités de chacun. Le langage de modélisation SysML (System Modeling Language) s'appuie sur une description graphique des systèmes et permet d'en représenter les constituants, les programmes, les flux d'information et d'énergie. L'adoption de ce langage en classes préparatoires, associé à un outil de simulation non causal, permet de répondre au besoin de modélisation à travers un langage unique. Il intègre la double approche structurelle et comportementale des systèmes représentatifs du triptyque Matière - Énergie - Information. Le langage SysML permet de décrire les systèmes selon différents points de vue cohérents afin d'en permettre la compréhension et l'analyse. Les diagrammes SysML remplacent les outils de description fonctionnelle et comportementale auparavant utilisés et qui ne sont plus au programme.

Il sera fait appel, chaque fois que nécessaire, à une étude documentaire, éventuellement en anglais, destinée à analyser et à traiter l'information relative à la problématique choisie.

3.2 Niveaux d'approfondissement

Les niveaux d'approfondissement des connaissances et savoir-faire sont spécifiés ci-dessous. Ce niveau de d'approfondissement étant différent pour chaque groupe à l'entrée en ATS ingénierie industrielle, il est précisé dans les colonnes GE, GM et AU.

Le niveau 1 est relatif à l'appréhension de la vue d'ensemble d'un sujet. Les réalités sont montrées sous certains aspects de manière partielle ou globale. Ce niveau indique la capacité d'identifier, de citer et d'évoquer un phénomène sans nécessairement le placer dans son contexte.

Le niveau 2 est relatif à l'acquisition de moyens d'expression et de communication. Il s'agit de maîtriser une connaissance. Ce niveau indique la capacité de décrire, d'expliquer, de faire un schéma et d'exprimer la compréhension d'un phénomène dans le contexte demandé.

Le niveau 3 est relatif à la maîtrise de procédés et d'outils d'étude ou d'action. Il s'agit de maîtriser un savoir-faire. Ce niveau indique la capacité d'utiliser un modèle, de mettre en œuvre une démarche de dimensionnement, de représenter et simuler un fonctionnement, d'effectuer une mesure, avec une certaine autonomie.

3.3 Contenu

A – Analyser

A1 Identifier le besoin et appréhender les problématiques

Connaissances	Savoir-faire	P	Niveau d'entrée			S
			GE	GM	AU	
Analyse fonctionnelle	Décrire le besoin	1	1	1	1	2
	Présenter la fonction globale	1	1	1	1	2
	Identifier les domaines d'application, les critères technico-économiques	1	1	1	1	2
	Identifier les contraintes	1	1	1	1	2
	Qualifier et quantifier les exigences (critères, niveaux)	1	1	1	1	2
	Identifier et caractériser les fonctions	1	1	1	1	2
Commentaires						

<p>Les diagrammes SysML, des cas d'utilisation et des exigences, sont présentés à la lecture. L'analyse fonctionnelle, outil indispensable à la conception et à la réalisation de produits compétitifs, constitue un moyen de situer une problématique technique ; elle fournit un cadre structurant des connaissances visées par le programme, quel que soit le champ disciplinaire abordé. La sensibilisation aux différents outils est abordée à travers quelques exemples pertinents et par la mise en situation systématique des objets d'études lors des TD ou des TP. Sur un système complexe, l'analyse et la description fonctionnelles doivent être partielles. L'étude se limitera donc à une seule chaîne d'énergie dans le cas d'un système complexe.</p>						
Impact environnemental	Évaluer l'impact environnemental (matériaux, énergie, nuisances)	1	1	1	1	2
	Établir une analyse du cycle de vie et analyser les résultats	1	1	1	1	2
	Effectuer un bilan carbone	1	1	1	1	2
<p>Commentaires On met en évidence ces notions par l'intermédiaire d'un outil numérique adapté. L'analyse du cycle de vie se limite à l'étude d'un produit simple ou d'une partie d'un système.</p>						

A2 Définir les frontières de l'analyse

Connaissances	Savoir-faire	P	Niveau d'entrée			S
			GE	GM	AU	
Impact environnemental	Définir les éléments influents du milieu extérieur	1	1	1	1	2
	Identifier les contraintes	1	1	1	1	2
Notion d'isolement	Isoler un système et justifier l'isolement	1	1	1	1	2
Cas d'utilisation	Définir les limites et les contraintes choisies ou imposées	1	1	1	1	2

A3 Appréhender les analyses fonctionnelle, structurelle et comportementale

Connaissances	Savoir-faire	P	Niveau d'entrée			S
			GE	GM	AU	
Analyse fonctionnelle Analyse structurelle Analyse comportementale	Identifier les fonctions techniques	1	2	2	1	3
	Déterminer les fonctions associées aux constituants et en justifier le choix	1	1	2	1	3
	Identifier les architectures fonctionnelles et structurelles	1	2	2	1	3
	Identifier la nature des flux échangés (matière, énergie, information) traversant la frontière d'étude	1	2	2	1	3
	Préciser leurs caractéristiques (variable potentielle, variable flux)	1	1	1	1	2
	Identifier et décrire les chaînes d'information et d'énergie	1	2	2	1	3
	Identifier les constituants réalisant les fonctions : acquérir, traiter, communiquer, alimenter, moduler, convertir, transmettre et agir	1	2	2	1	3
	Vérifier l'homogénéité et la compatibilité des flux entre les différents constituants	1	1	1	1	2
	Analyser un système réel ou sa représentation 3D en vue de déterminer la nature d'une liaison	1	1	3	1	3
	Analyser le comportement d'un système ou d'un modèle	1	2	2	1	2

Commentaires
 Les diagrammes SysML des cas d'utilisation, des exigences, de définition de blocs, de blocs internes, des états, de séquences, paramétrique, sont présentés à la lecture. Certains diagrammes peuvent être modifiés ou complétés mais la syntaxe du langage SysML doit être fournie.
 La représentation plane d'un mécanisme peut être utilisée mais sa maîtrise n'est pas exigée.
 Dans les diagrammes de blocs internes, on précise les variables potentielles (vitesse, vitesse angulaire, tension, pression, température, etc.) et les variables de flux (force, couple, courant, débit, flux thermique, etc.).
 Cette description permet de construire une culture de solutions technologiques.

Système asservi multi-physique	Identifier la structure d'un système asservi : chaîne directe, chaîne de retour	1	3	1	1	3
	Identifier et positionner les perturbations	1	2	1	1	3
	Différencier régulation et asservissement	1	2	1	1	3

Commentaire
 Il faut insister sur la justification de l'asservissement par la présence de perturbations et de critères de rapidité et de précision.

Chaîne d'énergie	Identifier les liens entre chaîne d'énergie et chaîne	1	2	2	1	3
Chaîne d'information	d'information Identifier les sens de transfert d'énergie	1	2	1	1	3

	Caractériser la nature d'une source	1	2	11	1	3
	Analyser la réversibilité de la chaîne d'énergie	2	1	1	1	2
	Analyser l'effet de la commande sur le comportement de la chaîne d'énergie	2	1		1	2
Comportement des systèmes logiques Représentation des signaux	Analyser le comportement d'un système décrit par un graphe d'état, un logigramme ou un chronogramme	1	2	1	1	3
Algorithmique Comportement des systèmes numériques	(Informatique 2) Analyser et interpréter un algorithme (Informatique 1.b) Représenter une information numérique sous différents formats (décimal, binaire, hexadécimal, nombre réel à virgule fixe ou flottante) (Informatique 1.b) Analyser la conséquence de la représentation choisie					
Transport et transmission de l'information	Identifier les architectures matérielles et fonctionnelles d'un réseau de communication	2	2	1		2
	Déterminer le débit de transmission	2	2	1		3
	Décoder une trame en vue d'analyser les différents champs	2	2	1		3

Commentaire

On insiste sur la relation entre la bande passante et le débit d'une liaison numérique, ainsi que sur l'influence du rapport signal / bruit.
La notion de protocole (règles, formats, conventions, débits de transmission) est introduite, y compris dans l'étude des liaisons point à point.

Acquisition de l'information : capteurs et détecteurs Traitement de l'information	Identifier et caractériser un capteur ou un détecteur Analyser le besoin et proposer un gabarit de filtre	1 2	2 2	2 2	1 1	2 2
--	--	--------	--------	--------	--------	--------

Commentaire

Les solutions techniques retenues sont les capteurs de position, de déplacement, de vitesse, d'accélération, d'effort, de pression, de débit et de température.
Le théorème de Shannon est donné sans démonstration. Pour les convertisseurs analogique-numérique, la présence d'un filtre anti-repliement est précisée et justifiée sans calcul.

A4 Caractériser des écarts

Connaissances	Savoir-faire	P	Niveau d'entrée			S
			GE	GM	AU	
Identification des écarts	Exploiter et interpréter les résultats d'un calcul ou d'une simulation (analyse de la modélisation proposée et des résultats obtenus)	1	1	1	1	3
	Traiter des données de mesures et de simulations et extraire les caractéristiques statistiques	1	1	1	1	3
	Extraire du cahier des charges les grandeurs pertinentes	1	1	1	1	3

Commentaire

On insiste sur le choix des résultats de simulation et des réponses expérimentales.

Quantification des écarts	Quantifier des écarts entre des valeurs attendues et des valeurs mesurées	1	1	1	1	3
	Quantifier des écarts entre des valeurs attendues et des valeurs obtenues par simulation	1	1	1	1	3
	Quantifier des écarts entre des valeurs mesurées et des valeurs obtenues par simulation	1	1	1	1	3
Analyse structurelle Comportement des systèmes	Rechercher et proposer des causes aux écarts constatés	2	1	1	1	2
	Vérifier la cohérence du modèle choisi avec des résultats d'expérimentation	2	1	1	1	3

A5 Apprécier la pertinence et la validité des résultats

Connaissances	Savoir-faire	P	Niveau d'entrée			S
			GE	GM	AU	

Comportement des systèmes	Prévoir l'ordre de grandeur et l'évolution de la mesure ou de la simulation	2	1	1	1	3
	Critiquer les résultats issus d'une mesure ou d'une simulation	2	1	1	1	2
	Identifier des valeurs erronées	2	1	1	1	3
	Analyser la pertinence du choix des grandeurs simulées	2	1	1	1	3
	Valider ou affirmer une hypothèse	2	1	1	1	3
Protocole expérimental et réalisation	Exploiter et interpréter des résultats de mesure ou de simulation	2	2	2	1	3
	Utiliser des symboles et des unités adéquates	2	2	2	1	3
	Vérifier l'homogénéité des résultats	2	2	2	1	3

B - Modéliser

B1 Identifier et caractériser les grandeurs physiques agissant sur un système

Connaissances	Savoir-faire	P	Niveau d'entrée			S
			GE	GM	AU	
Analyse structurelle Modélisation des entrées - sorties d'un système	Qualifier les grandeurs d'entrée et de sortie d'un système isolé	1	1	1	1	2
Commentaires On insiste sur les notions d'association en fonction de la nature des sources et des charges Le point de vue de l'étude conditionne le choix de la variable potentielle ou de la variable de flux à utiliser.						
Représentation des signaux	Décrire les évolutions temporelles ou fréquentielles des grandeurs dans les chaînes d'énergie et d'information	1	2	1	1	3
Chaîne d'énergie	Associer les grandeurs physiques aux échanges d'énergie et à la transmission de puissance	1	2	1	1	3
	Identifier les pertes d'énergie dans un convertisseur statique d'énergie, dans un actionneur ou dans une liaison	2	2	1	1	2
Action mécanique	Réaliser l'inventaire des actions mécaniques extérieures s'exerçant sur un solide ou un ensemble de solides	1	1	3	1	3
Commentaires La puissance est toujours égale au produit d'une variable potentielle (vitesse, vitesse angulaire, tension, pression, température, etc.) par une variable de flux (force, couple, courant, débit, flux thermique, etc.). Les systèmes multi-physique sont limités aux domaines de l'électricité, de la mécanique, de l'hydraulique et de la thermique.						
Chaîne d'information	Identifier la nature de l'information et la nature du signal	1	2	1	1	3
Analyse structurelle	Identifier les grandeurs influentes d'un système	2	1	1	1	2
	Proposer des hypothèses simplificatrices en vue de la modélisation	2	1	1	1	2
Commentaire On vérifiera l'adéquation des hypothèses avec les objectifs à atteindre.						

B2 Proposer un modèle de connaissance et de comportement

Connaissances	Savoir-faire	P	Niveau d'entrée			S
			GE	GM	AU	
Conditionnement de l'information	Établir le modèle de comportement d'un constituant	1	2	1	1	3
Transmission de l'énergie	Associer un modèle à un constituant	1	1	1	1	3
Commentaires On se limite aux fonctions suivantes : filtrer et amplifier. On se limite aux constituants suivants : trains d'engrenage simple et épicycloïdal, poulies-courroie, vis-écrou, bielle-manivelle, roue et vis sans fin. Les paramètres des modèles associés sont limités au rapport de réduction, au rendement et à la réversibilité. D'autres études peuvent être proposées à partir de documents ressources fournis.						
Modulation de l'énergie	Modéliser l'association convertisseur statique-machine	2	2	1	1	3
Conversion de l'énergie	Modéliser une non-réversibilité dans une chaîne d'énergie	2	1	1	1	2
Commentaires On insiste sur la nature des grandeurs physiques d'entrée et de sortie. Pour les solutions électriques, on précise les régimes continu ou alternatif, les sources de courant ou de tension						

<p>parfaites :</p> <ul style="list-style-type: none"> - réseaux de distribution monophasé et triphasé équilibré ; - réseaux embarqués, piles, panneaux solaires et accumulateurs (différentes technologies et leurs principales applications). <p>On limite les études aux convertisseurs statiques directs, non isolés. Les convertisseurs statiques au programme sont les hacheurs série, parallèle et 4 quadrants, l'onduleur de tension et le montage redresseur PD2. Dans le cadre d'une démarche pédagogique, le montage PD2 est abordé à partir du montage P2.</p> <p>On montre l'intérêt de la commande MLI du point de vue de la qualité de l'énergie. Les développements en série de Fourier seront fournis.</p> <p>On insiste sur l'obligation d'une commande en couple d'un actionneur électromécanique.</p> <p>Voir annexe « outils mathématiques » pour les développements en série de Fourier.</p>						
Liaison mécanique	Proposer et justifier un modèle de liaison entre deux solides à partir d'un système réel ou de sa représentation 3D	1	1	3	1	3
	Associer à une liaison un torseur d'action mécanique transmissible et un torseur cinématique	1	1	3	1	3
	Déterminer la liaison cinématiquement équivalente à un ensemble de deux liaisons	1	1	2	1	3
<p>Commentaires</p> <p>Le modèle de liaison est déterminé, soit à partir des surfaces fonctionnelles, soit à partir des mobilités. La représentation plane d'un mécanisme peut être utilisée mais sa maîtrise n'est pas exigée.</p>						
Loi de mouvement	Paramétrer les mouvements d'un solide indéformable	1	1	2	1	2
Schématisation des solutions	Réaliser le graphe des liaisons de tout ou partie d'un mécanisme	1	1	3	1	3
	Proposer un schéma cinématique (plan ou 3D) minimal de tout ou partie d'un mécanisme	1	1	2	1	3
Action mécanique Solide indéformable	Associer un modèle à une action mécanique avec ou sans frottement (lois de Coulomb)	1	1	2	1	2
	Écrire la relation entre modèle local et modèle global dans le cas d'actions réparties	1	1	1	1	2
	Déterminer la masse et le centre d'inertie d'un solide indéformable	2	1	1	1	2
	Déterminer la matrice d'inertie d'un solide indéformable à l'aide d'un modèle volumique	2	1	1	1	2
<p>Commentaire</p> <p>Les résistances au roulement, au pivotement, ainsi que la théorie de Hertz, ne sont pas au programme.</p>						
Distribution et modulation de l'énergie	Adapter la typologie d'un convertisseur statique à la nature des sources	2	1	1	1	2
<p>Commentaire</p> <p>On se limite à la conversion directe non isolée.</p>						
Représentation et identification d'un système asservi multi-physique	Établir le schéma-blocs du système	1	2	1	1	3
	Déterminer les fonctions de transfert à partir d'équations physiques (modèle de connaissance)	1	2	1	1	3
	Déterminer les fonctions de transfert en boucle ouverte et boucle fermée	1	1	1	1	3
	Identifier les paramètres caractéristiques d'un modèle du premier ou du second ordre à partir de sa réponse indicielle	1	1	1	1	3
<p>Commentaire</p> <p>On se limite aux opérateurs de dérivation et d'intégration de la transformée de Laplace.</p>						
Modélisation d'un système asservi multi-physique Système non linéaire	Linéariser un modèle autour d'un point de fonctionnement	1	1	1	1	2
	Définir les paramètres du modèle	1	1	1	1	2
	Compléter un diagramme paramétrique	1	1	1	1	2
	Identifier les paramètres d'un modèle de comportement à partir d'un diagramme de Bode	1	1	1	1	3
	Associer à un modèle de comportement (premier et second ordre, dérivateur, intégrateur), l'analyse d'un diagramme de Bode	1	1	1	1	3
<p>Commentaires</p> <p>Les abaques nécessaires à l'identification temporelle sont fournis pour le modèle du second ordre.</p> <p>Dans le domaine fréquentiel, seul le diagramme de Bode est développé pour l'identification d'un modèle de comportement.</p> <p>Des modules de simulation et de calcul de type non causal sont à privilégier.</p>						

B3 Valider un modèle

Connaissances	Savoir-faire	P	Niveau d'entrée			S
			GE	GM	AU	
Modélisation d'un système multi-physique	Vérifier la cohérence du modèle choisi avec les résultats d'expérimentation	2	1	1	1	3
	Modifier les paramètres et enrichir le modèle pour minimiser l'écart entre les résultats simulés et les réponses mesurées	2	1	1	1	2
Simplification d'une modélisation	Réduire l'ordre de la fonction de transfert selon l'objectif visé, à partir des pôles dominants qui déterminent la dynamique asymptotique du système	2	1	1	1	2
Système non linéaire	Définir les limites de validité d'un modèle	2	1	1	1	2
Commentaire						
On met l'accent sur les approximations faites, leur cohérence et domaine de validité par rapport aux objectifs. 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.).						

C - Résoudre

C1 Choisir une démarche de résolution

Connaissances	Savoir-faire	P	Niveau d'entrée			S
			GE	GM	AU	
Performances d'un système multi-physique	Proposer une démarche permettant de prévoir les performances d'un système asservi	2	1	1	1	2
Réglage de correcteurs	Proposer une démarche de réglage d'un paramètre d'un correcteur proportionnel ou proportionnel-intégral	2	2	1	1	3
Loi de mouvement	Proposer une démarche permettant de déterminer une loi de mouvement	1	1	2	1	2
Action mécanique Inconnues de liaison	Proposer une méthode permettant la détermination des inconnues de liaison	1	1	2	1	2
	Proposer une méthode permettant la détermination des paramètres conduisant à des positions d'équilibre	1	1	2	1	2
Alimentation en énergie Modulation d'énergie Conversion d'énergie	Proposer une méthode de résolution permettant la détermination des courants, des tensions, des puissances échangées, des énergies transmises ou stockées	2	2	1	1	3

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

Connaissances	Savoir-faire	P	Niveau d'entrée			S
			GE	GM	AU	
Représentation des signaux	Tracer les évolutions des grandeurs physiques dans les domaines fréquentiel et temporel	1	2	1	1	2
	Prévoir les réponses temporelles des systèmes linéaires continus invariants du premier et second ordre	1	2	1	1	3
	Prévoir les réponses fréquentielles des systèmes linéaires continus invariants	1	2	1	1	3
Performances d'un système asservi (précision, rapidité et stabilité)	Caractériser la stabilité d'un système du premier et du second ordre	1	2	1	1	3
	Justifier le choix d'un correcteur vis-à-vis des performances attendues	2	2	1	1	3
	Déterminer des paramètres permettant d'assurer la stabilité dans les domaines fréquentiel et de Laplace	2	2	1	1	2
	Déterminer l'erreur en régime permanent vis-à-vis d'une entrée en échelon ou en rampe (consigne ou perturbation)	1	1	1	1	3
	Prévoir les performances de rapidité et de précision d'un système linéaire continu et invariant	1	2	1	1	3

Commentaires

La transformée de Laplace inverse est hors programme.

<p>Le critère de Routh est hors programme. La synthèse complète des correcteurs est hors-programme. L'étude théorique des systèmes non linéaires est hors programme. La mise en évidence des non linéarités est faite lors des activités expérimentales ou au travers de simulations. Les diagrammes de Black et de Nyquist ne sont pas au programme. Il faut attirer l'attention des étudiants sur la nécessité de comparer des grandeurs homogènes, par exemple la nécessité d'adapter la sortie et sa consigne. Les théorèmes de la valeur finale et initiale sont donnés sans démonstration. On insiste sur la dualité temps / fréquence pour la rapidité et sur la classe pour la précision. Voir annexe « outils mathématiques » pour les équations différentielles, pour la représentation des fonctions.</p>						
Loi de mouvement (trajectoire, vitesse, accélération, fermetures géométriques et cinématiques)	Déterminer la loi entrée-sortie d'une chaîne cinématique simple	1	1	2	1	3
	Déterminer la trajectoire d'un point d'un solide par rapport à un autre solide	1	1	2	1	3
	Déterminer le vecteur-vitesse d'un point d'un solide par rapport à un autre solide	1	1	2	1	3
	Déterminer le vecteur-accélération d'un point d'un solide par rapport à un autre solide	1	1	2	1	3
	Déterminer les relations de fermeture géométrique et cinématique d'une chaîne cinématique, et résoudre le système associé	1	1	1	1	3
<p>Commentaires Pour la dérivée d'un vecteur, on insiste sur la différence entre référentiel d'observation et base d'expression du résultat. Les méthodes graphiques peuvent être utilisées mais leur maîtrise n'est pas exigée. Voir annexe « outils mathématiques » pour les projections d'un vecteur, pour le produit vectoriel, pour les fonctions, pour la géométrie (vecteurs et systèmes de coordonnées).</p>						
Chaîne de solide Degré de mobilité et d'hyperstaticité	Déterminer le degré de mobilité et d'hyperstaticité.	1	1	2	1	2
<p>Commentaire Le degré d'hyperstaticité doit être mis en relation avec les contraintes géométriques. Le vocabulaire associé à ces contraintes n'est pas exigé.</p>						
Loi de mouvement Action mécanique Torseur dynamique Énergie cinétique	Mettre en œuvre une démarche en vue de déterminer les inconnues de liaison	1	1	3	1	3
	Déterminer les paramètres conduisant à des positions d'équilibre	1	1	3	1	3
	Déterminer les inconnues de liaison ou les efforts extérieurs spécifiés dans le cas où le mouvement est imposé	1	1	3	1	3
	Écrire le torseur dynamique d'un solide en mouvement au centre de masse ou en un point fixe du solide dans un référentiel galiléen	2	1	2	1	3
	Exprimer la loi de mouvement sous forme d'équations différentielles dans le cas où les efforts extérieurs sont connus	2	1	2	1	3
	Exprimer l'énergie cinétique d'un solide dans un référentiel galiléen	2	1	2	1	3
	Exprimer les puissances extérieures et les inter-efforts	2	1	2	1	3
	Appliquer le théorème de l'énergie-puissance	2	1	2	1	3
<p>Commentaires Les méthodes graphiques peuvent être utilisées mais leur maîtrise n'est pas exigée. Le modèle est isostatique. La résolution de ces équations différentielles peut être conduite par des logiciels adaptés. L'accent est alors mis sur la modélisation, l'acquisition correcte des données et l'exploitation des résultats. On définit précisément la nature des grandeurs extérieures (variables potentielles, variables flux) dans le calcul des puissances. On insiste sur la relation entre les grandeurs mécaniques et électriques. Voir annexe « outils mathématiques » pour les équations quelconques, pour le barycentre d'un système de points, pour le calcul matriciel.</p>						
Alimentation en énergie et stockage de l'énergie Modulation d'énergie Actionneurs et pré-actionneurs incluant leurs commandes	Déterminer les courants et les tensions dans les composants	1	2	1	1	3
	Déterminer les puissances échangées	1	2	1	1	3
	Déterminer les énergies transmises ou stockées	1	2	1	1	3
<p>Commentaires</p>						

On peut utiliser les vecteurs de Fresnel pour la modélisation des sources alternatives sinusoïdales et des machines électriques synchrones et asynchrones, mais leur maîtrise n'est pas exigée.
On insiste sur les formes d'ondes et la qualité de l'énergie.

Chaîne d'énergie	Déterminer la caractéristique mécanique de l'actionneur	2	2	1	1	3
Caractéristique mécanique et point de fonctionnement	Déterminer le point de fonctionnement et le rendement associé	2	2	1	1	3

Commentaires

Pour les solutions techniques électriques :

- machine à courant continu à excitation constante ;
- machine synchrone triphasée ;
- machine asynchrone triphasée à cage.

Les modèles des actionneurs électriques sont donnés sans justification.

Pour la machine à courant continu, le modèle présenté est de type RLE (résistance d'induit R, inductance d'induit L, et force contre électromotrice E).

Pour la machine asynchrone triphasée, le modèle étudié est un modèle statique monophasé composé de l'inductance magnétisante L, de la résistance rotorique ramenée au stator et de l'inductance de fuite rotorique ramenée au stator. Seules les commandes scalaires en U/f et en courant sont étudiées.

Pour la machine synchrone triphasée, le modèle statique étudié est le modèle monophasé composé de l'inductance cyclique Ls, de la résistance statorique Rs, et de la force contre électromotrice à vide Ev.

On insiste sur la nécessité d'une commande en couple des actionneurs électromécaniques.

Pour les solutions hydrauliques et pneumatiques, on se limite à l'étude des vérins et moteurs.

Pour les actionneurs hydrauliques, le fluide est considéré incompressible.

Voir annexe « outils mathématiques » pour les équations non linéaires, pour les projections d'un vecteur.

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

Connaissances	Savoir-faire	P	Niveau d'entrée			S
			GE	GM	AU	
Simulation d'un système multi-physique	Compléter le diagramme paramétrique pour renseigner un modèle	2	1	1	1	2
	Choisir et justifier le choix des grandeurs simulées	2	1	1	1	2
	Qualifier l'influence d'un paramètre sur les performances simulées	2	1	1	1	2
Résolution numérique	(Informatique 3) Utiliser un outil informatique pour résoudre tout ou partie d'un problème technique donné					

Commentaire Le choix des grandeurs analysées doit être en relation avec le choix des performances à vérifier.

D – Expérimenter

D1 Découvrir le fonctionnement d'un système pluri-technologique

Connaissances	Savoir-faire	P	Niveau d'entrée			S
			GE	GM	AU	
Protocole expérimental	Mettre en œuvre un système dans le respect des règles de sécurité	1	2	1	1	3
Chaîne d'énergie Chaîne d'information	Identifier les constituants réalisant les fonctions élémentaires de la chaîne d'énergie et d'information	1	2	2	1	3
	Repérer les flux d'entrée et de sortie de chaque constituant, leurs natures (électrique, mécanique, pneumatique, thermique ou hydraulique) et leurs sens de transfert	1	1	1	1	3

D2 Proposer et justifier un protocole expérimental

Connaissances	Savoir-faire	P	Niveau d'entrée			S
			GE	GM	AU	
Réponse expérimentale et ordre de grandeur	Prévoir l'allure de la réponse attendue	2	2	1	1	2
	Prévoir l'ordre de grandeur de la mesure	2	2	1	1	2
Protocole expérimental	Choisir les configurations matérielles du système en fonction de l'objectif visé	2	1	1	1	3
	Justifier le choix de la grandeur physique à mesurer	2	1	1	1	3

	Choisir les entrées à imposer pour identifier un modèle de comportement	2	1	1	1	3
	Choisir les appareillages et les conditions d'exploitation en adéquation avec la législation	2	2	2	2	2
Analyse structurelle	Proposer et justifier le lieu de prise de mesures vis-à-vis de l'objectif à atteindre	2	2	1	1	2
Acquisition de l'information : capteurs et détecteurs	Qualifier les caractéristiques d'entrée-sortie d'un capteur ou d'un détecteur	1	2	1	1	2
	Justifier le choix d'un capteur, d'un détecteur ou d'un appareil de mesure vis-à-vis de la grandeur physique à mesurer	2	2	1	1	2
	Justifier les caractéristiques d'un appareil de mesure	2	2	1	1	2
Chaîne d'acquisition	Proposer les paramètres de configuration d'une chaîne d'acquisition (capteurs intelligents, conditionneur, réseaux)	2	1	1	1	2
Conditionnement du signal	Prévoir la quantification nécessaire à la précision souhaitée	22	22	11	11	2
	Vérifier l'adéquation entre le temps de conversion et la fréquence d'échantillonnage					2
Système asservi multi-physique Identification de modèles	Proposer une méthode d'identification, dans le domaine temporel ou fréquentiel, pour renseigner le modèle de comportement d'un système limité à l'ordre 2	2	1	1	1	3

D3 Mettre en œuvre un protocole expérimental

Connaissances	Savoir-faire	P	Niveau d'entrée			S
			GE	GM	AU	
Protocole expérimental	Mettre en œuvre un appareil de mesure adapté à la caractéristique de la grandeur à mesurer	2	2	2	2	2
	Régler les paramètres de fonctionnement d'un système	2	1	1	1	2
	Mettre en œuvre un système complexe en respectant les règles de sécurité	2	2	2	2	3
	Respecter les protocoles expérimentaux	2	2	2	2	3
Chaîne d'acquisition Chaîne d'information Réseaux de communication	Paramétrer une chaîne d'acquisition en fonction des caractéristiques des capteurs, détecteurs et des résultats de mesures attendus Paramétrer les constituants d'un réseau local	2	2	1	1	2
Système asservi multi-physique Identification de modèles	Mettre en œuvre une méthode d'identification, dans le domaine temporel ou fréquentiel, pour renseigner le modèle de comportement d'un système limité à l'ordre 2	2	1	1	1	3
Commentaire On insiste sur la relation existant entre la fréquence d'échantillonnage, la quantification et les résultats attendus.						
Représentation des signaux	Choisir une fenêtre d'observation en fonction des résultats attendus	2	1	1	1	2
Commentaire L'influence du temps d'échantillonnage est illustrée.						
Chaîne d'énergie Analyse structurelle	Mesurer les grandeurs potentielles et les grandeurs de flux dans les différents constituants d'une chaîne d'énergie	1	2	1	1	3
Comportement des systèmes logiques	(Informatique) Générer un programme et l'implanter dans un système cible	1	2	1	1	2
Simulation numérique Traitement de l'information	(Informatique 3) Réaliser une intégration ou une dérivée sous forme numérique (somme et différence) (Informatique 3) Effectuer des traitements (filtrage, régression linéaire, méthode des moindres carrés, analyse statistique, etc.) à l'aide de logiciels adaptés à partir des données de mesures expérimentales	1	2	2	1	3
Commentaire On insiste sur la caractérisation du signal en vue d'une comparaison avec les résultats d'une simulation ou les spécifications d'un cahier des charges (valeur moyenne, valeur efficace...). Les convertisseurs analogique-numérique sont des constituants dont le choix est limité à la résolution et au temps de conversion.						

E – Concevoir

E1 Imaginer des architectures ou des solutions technologiques

Connaissances	Savoir-faire	P	Niveau d'entrée			S
			GE	GM	AU	
Architecture fonctionnelle	Proposer une architecture fonctionnelle de tout ou partie d'un système en vue de sa conception	2	2	2	1	2
Architecture structurelle	Proposer une architecture structurelle de tout ou partie d'un système en vue de sa conception	2	2	2	1	2
Architecture fonctionnelle Comportement des systèmes logiques Comportement des systèmes numériques	Proposer des évolutions sous forme fonctionnelle	2	2	2	1	2
Algorithmique Comportement des systèmes logiques Comportement des systèmes numériques	Modifier une programmation (graphe d'états, logigramme ou algorithme) en vue de changer le comportement de tout ou partie du système (Informatique 2.b) Proposer et valider la solution d'une structure algorithmique (boucle, instructions conditionnelles, instructions itératives, fonction, structures de données)	1	2	2	1	3
<p>Commentaires On insiste sur la relation entre les caractéristiques fréquentielles et temporelles pour le traitement d'un signal. Les outils de simulations graphiques sont utilisés pour réaliser les fonctions logiques complexes, étant entendu que celles-ci sont intégrées dans des circuits logiques programmables et ne se présentent pas sous forme de composants discrets. La simplification des fonctions logiques n'est pas au programme. Seules les structures algorithmiques de base sont étudiées. La mise en œuvre de ces structures peut être l'occasion de réaliser des correcteurs numériques avec des intégrations et dérivations numériques.</p>						

E2 Choisir une solution technologique

Connaissances	Savoir-faire	P	Niveau d'entrée			S
			GE	GM	AU	
Chaîne d'énergie	Choisir un convertisseur statique en fonction des transferts énergétiques souhaités	2	2	1	1	2
Conversion de l'énergie Actionneurs	Choisir un actionneur adapté aux exigences	2	2	2	1	3
Contrôle et commande d'un système asservi Correcteurs	Choisir un correcteur adapté aux performances attendues	2	1	1	1	2
<p>Commentaire L'amélioration des performances apportée par le correcteur est illustrée.</p>						
Chaîne d'énergie Chaîne d'information Solution technique	Proposer et hiérarchiser des critères de choix d'une solution technique	2	2	2	1	2
	Choisir et justifier la solution technique retenue	2	2	2	1	2
<p>Commentaires Les critères de choix de la solution technique retenue sont : - pour la chaîne d'énergie (adaptation du mouvement ou de l'énergie, rendement, autonomie, réversibilité) ; - pour la chaîne d'information (débit binaire ; nature des grandeurs d'entrées/sorties). Le choix de solutions techniques vis-à-vis d'autres critères peut être étudié à partir de documents ressources fournis.</p>						

E3 Dimensionner une solution technique

Connaissances	Savoir-faire	P	Niveau d'entrée			S
			GE	GM	AU	
Chaîne d'énergie Chaîne d'information	Dimensionner les constituants de la chaîne d'énergie et de la chaîne d'information à partir d'une documentation technique	2	1	1	1	2
Commentaires Le dimensionnement est réalisé à partir de critères énergétiques : - couple (effort) thermique équivalent ; - réversibilité ; - critère pV. Le dimensionnement des convertisseurs analogique-numérique et des mémoires est réalisé à partir de critères de rapidité et de capacité. Le dimensionnement d'une solution technique vis-à-vis d'autres critères peut être étudié à partir de documents ressources fournis.						

F – Réaliser

F1 Réaliser et valider un prototype ou une maquette

Connaissances	Savoir-faire	P	Niveau d'entrée			S
			GE	GM	AU	
Réalisation	Réaliser un prototype de tout ou partie d'un système en vue de valider l'architecture fonctionnelle et structurelle	2	1	1	1	2
	Valider les choix des composants vis-à-vis des performances attendues	2	1	1	1	2
	Analyser les facteurs d'échelle et les proportions des grandeurs influentes	2	1	1	1	2
Commentaire Les solutions de prototypage rapide sont privilégiées (imprimante 3D, cartes de développement).						
Contrôle et commande d'un système asservi	Mettre en place un asservissement à l'aide de constituants numériques	2	1	1	1	2

F2 Intégrer des constituants dans un prototype ou une maquette

Connaissances	Savoir-faire	P	Niveau d'entrée			S
			GE	GM	AU	
Réalisation	Assembler un ou plusieurs constituants pour permettre de répondre à une fonction	2	1	1	1	2
Commentaire L'approche constituant (solution intégrée) est favorisée par rapport à l'approche composant (élément qui fait partie d'un système)						
Comportement des systèmes numériques	Mettre en œuvre des composants programmables à l'aide d'un outil graphique de description (graphe d'état, algorithme, etc.).	2	1	1	1	2
Analyse structurelle	Identifier le ou les élément(s) limitant(s) du point de vue des performances globales du prototype	2	1	1	1	2
Programmation d'un système complexe : graphe d'état, implantation dans un système cible	Choisir un type de données en fonction d'un problème à résoudre Concevoir l'en-tête (ou la spécification) d'une fonction, puis la fonction elle-même Traduire un algorithme dans un langage de programmation Gérer efficacement un ensemble de fichiers correspondant à des versions successives d'un fichier source Rechercher une information au sein d'une documentation en ligne, analyser des exemples fournis dans cette documentation Documenter une fonction, un programme Modifier une programmation en vue de changer le comportement de tout ou partie d'un système complexe	2	2	1	1	2
Commentaire On propose des activités (adaptées aux équipements et logiciels disponibles dans l'établissement) permettant de programmer l'exécution d'une tâche complexe d'un système cible.						

G - Communiquer

G1 Rechercher et traiter des informations

Connaissances	Savoir-faire	P	Niveau d'entrée			S
			GE	GM	AU	
Information technique Tri des informations Synthèse et analyse critique des informations	Extraire les informations utiles d'un dossier technique	2	2	2	2	3
	Effectuer une synthèse des informations disponibles dans un dossier technique	2	2	2	2	3
	Vérifier la nature des informations	2	2	2	2	3
	Définir les critères de tri des informations	2	2	2	2	3
	Trier les informations selon des critères	2	2	2	2	3
Schématisation des solutions	Distinguer les différents types de documents en fonction de leurs usages	2	2	2	2	3
	Lire et interpréter un schéma	2	2	2	2	3
Commentaire Les normes de représentation des schémas sont fournies.						
Modélisation d'un système multi-physique	Lire et interpréter un diagramme	2	1	1	1	2
Commentaire Les normes de représentation du langage SysML sont fournies, la connaissance de la syntaxe n'est pas exigible.						

G2 Choisir les contenus et l'outil de description adapté

Connaissances	Savoir-faire	P	Niveau d'entrée			S
			GE	GM	AU	
Outils de communication	Cibler le contenu de la communication et choisir l'outil de description adapté	2	2	2	2	3
Commentaires On insiste sur la pertinence de la représentation vis-à-vis des informations (courbes, tableau, carte heuristique, etc.). Un dessin à main levée peut constituer un outil de description performant.						

G3 Afficher et communiquer des résultats

Connaissances	Savoir-faire	P	Niveau d'entrée			S
			GE	GM	AU	
Outils de communication	Utiliser les outils de communication adaptés à son auditoire	2	2	2	2	3
	Avoir une attitude conforme à l'éthique	2	2	2	2	3
	Respecter son temps de parole	2	2	2	2	3
	Être attentif aux réactions de son auditoire	2	2	2	2	3
	Faire preuve d'écoute et confronter des points de vue	2	2	2	2	3
	Être capable de reformuler un questionnement	2	2	2	2	3
	Synthétiser des informations sous une forme écrite ou orale	2	2	2	2	3
Commentaire Les outils numériques sont privilégiés.						

Appendice aux programmes de physique et de sciences industrielles de l'ingénieur pour la classe ATS ingénierie industrielle

« Outils mathématiques »

Au niveau des classes préparatoires, le rôle structurant des outils fournis par les mathématiques est incontournable en physique et en sciences industrielles de l'ingénieur, mais il convient d'éviter les dérives formelles ou calculatoires : le recours au calcul analytique doit être limité aux cas les plus simples et des outils de calcul numérique sont utilisés dans tous les autres cas, y compris dans certains cas où des calculs analytiques seraient a priori possibles mais hors de portée des étudiants du fait de leur longueur ou de leur technicité.

Afin de cibler au mieux la formation et l'évaluation, cette annexe liste les outils mathématiques dont une bonne maîtrise est indispensable pour que les objectifs de formation des programmes de physique et de sciences industrielles de l'ingénieur puissent être pleinement atteints. Le niveau d'exigence requis est systématiquement précisé pour chaque outil afin d'éviter toute dérive.

L'apprentissage de ces outils doit être réparti sur l'année en fonction de l'avancement des cours en ayant un souci permanent de contextualisation. Ceci suppose notamment une concertation au sein de l'équipe pédagogique.

Dans le cas où d'autres outils sont ponctuellement nécessaires, il convient de les mettre à disposition des étudiants sous une forme opérationnelle (formulaires,) et de faire en sorte que leur manipulation ne puisse pas constituer un obstacle.

Outils	Niveau d'exigence
1. Équations algébriques	
Système linéaire de n équations à p inconnues	Identifier un nombre minimal d'inconnues, confronter au nombre d'équations indépendantes disponibles Exprimer la dépendance dans le seul cas $n = p = 2$ Résoudre analytiquement dans le seul cas $n = p = 2$ Utiliser des outils numériques ou formels dans les autres cas Exemples : systèmes d'ordre 3 : $n = p = 3$ en mécanique (statique du solide)
Équation non linéaire	Discuter graphiquement dans le cas où l'équation se présente sous la forme $f(x) = g(x)$ de l'égalité de deux fonctions f et g classiques Résoudre, dans le cas général, à l'aide d'un outil numérique Exemples : point de fonctionnement d'un actionneur associé à sa charge, d'un générateur associé à sa charge

Outils	Niveau d'exigence
2. Équations différentielles	
Équation différentielle linéaire du premier et du second ordre à coefficients constants	Identifier l'ordre, expliciter les conditions initiales. Exploiter l'équation caractéristique Prévoir le caractère borné ou non des solutions de l'équation homogène (critère de stabilité) Mettre une équation sous forme canonique L'écriture de l'équation différentielle doit permettre la vérification de l'homogénéité des grandeurs physiques Tracer numériquement l'allure du graphe des solutions en tenant compte des conditions initiales Résoudre analytiquement (solution complète) dans le seul cas d'une équation du premier ordre et d'un second membre constant Obtenir analytiquement (notation complexe) le seul régime sinusoïdal forcé dans le cas d'un second membre sinusoïdal Mettre en évidence l'intérêt d'utiliser la notation complexe dans le cas d'un régime forcé sinusoïdal Déterminer le module et la phase des grandeurs Mettre en évidence les notions de régime libre, régime permanent, régime forcé et régime transitoire Exemples : électrocinétique, mécanique, thermique...
Équation quelconque	Intégrer numériquement avec un outil fourni Exemples : équations issues du principe fondamental de la dynamique

Outils	Niveau d'exigence
3. Fonctions	
Fonctions usuelles	Exponentielle, logarithme népérien et décimal, cosinus, sinus, tangente, $x \rightarrow x^2$, $x \rightarrow \frac{1}{x}$, $x \rightarrow \sqrt{x}$
Dérivée	Interpréter géométriquement la dérivée Dériver une fonction composée Rechercher un extremum Exemples : phénomène de résonance, couple maximal d'une machine asynchrone
Primitive et intégrale Valeurs moyenne et efficace	Interpréter l'intégrale comme une somme de contributions infinitésimales Exprimer la valeur moyenne sous forme d'une intégrale Connaître la valeur moyenne sur une période des fonctions \cos , \sin , \cos^2 et \sin^2 Interpréter l'intégrale en termes d'aire algébrique pour des fonctions périodiques simples Exemples : fonctions périodiques constantes par morceaux pour les convertisseurs statiques
Représentation graphique d'une fonction	Utiliser un grapheur pour tracer une courbe d'équation donnée Déterminer un comportement asymptotique Rechercher un extremum Utiliser des échelles logarithmiques ; identifier une loi de puissance en échelle log-log Exemples : réponses fréquentielles (diagramme de Bode)
Développements limités	Connaître et utiliser la formule de Taylor à l'ordre un ou deux ; interpréter graphiquement Connaître et utiliser les développements limités usuels au voisinage de 0 jusqu'au premier ordre non nul : $(1+x)^\alpha$, exponentielle, sinus, cosinus, logarithme népérien
Développement en série de Fourier d'une fonction périodique	Utiliser un développement en série de Fourier fourni via un formulaire Mettre en évidence les propriétés de symétrie dans le domaine temporel (demi-période)

Outils	Niveau D'exigence
4. Géométrie	
Vecteurs et systèmes de coordonnées	Exprimer algébriquement les coordonnées d'un vecteur Utiliser les systèmes de coordonnées cartésiennes et cylindriques Exemple : repérage d'un point dans l'espace en cinématique
Projection d'un vecteur et produit scalaire	Interpréter géométriquement le produit scalaire et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée Utiliser la bilinéarité et le caractère symétrique du produit scalaire Exemples : projection en mécanique dans un repère, diagramme de Fresnel
Produit vectoriel	Interpréter géométriquement le produit vectoriel et connaître son expression en fonction des coordonnées dans une base orthonormée directe Utiliser la bilinéarité et le caractère antisymétrique du produit vectoriel Faire le lien avec l'orientation des trièdres Exemples : calcul des moments, dérivation des vecteurs unitaires
Transformations géométriques	Utiliser les symétries par rapport à un plan, les translations et les rotations Connaître leur effet sur l'orientation de l'espace
Courbes planes Courbes planes paramétrées	Reconnaître l'équation cartésienne d'une droite et d'un cercle Utiliser la représentation polaire d'une courbe plane ; utiliser un grapheur pour obtenir son tracé ; interpréter l'existence de points limites ou d'asymptotes à partir de l'équation $r=f(\theta)$ Reconnaître les équations paramétriques $x=a \cos(\omega t)$ et $y=a \sin(\omega t - \varphi)$ d'une ellipse et la tracer dans les cas particuliers : $\varphi = 0$, $\varphi = \frac{\pi}{2}$, $\varphi = \pi$ Tracer une courbe paramétrée à l'aide d'un grapheur
Longueurs, aires et volumes classiques	Connaître les expressions du périmètre du cercle, de l'aire du disque, de l'aire d'une sphère, du volume d'une boule, du volume d'un cylindre
Barycentre d'un système de points	Connaître la définition du barycentre Utiliser son associativité Exploiter les symétries pour prévoir la position du barycentre d'un système homogène Exemple : recherche d'un centre de gravité d'un solide

Outils	Niveau d'exigence
5. Trigonométrie	
Angle orienté	Définir une convention d'orientation des angles dans un plan et lire des angles orientés Relier l'orientation d'un axe de rotation à l'orientation positive des angles de rotation autour de cet axe
Fonctions cosinus, sinus et tangente	Utiliser le cercle trigonométrique et l'interprétation géométrique des fonctions trigonométriques cosinus, sinus et tangente comme aide-mémoire : relation $\cos^2 x + \sin^2 x = 1$, relations entre fonctions trigonométriques, parités, valeurs des fonctions pour les angles usuels Connaître les formules d'addition et de duplication des cosinus et sinus Utiliser un formulaire dans les autres cas Passer de la forme $A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t)$ à la forme $C \cos(\omega t - \varphi)$
Nombres complexes et représentation dans le plan. Somme et produit de nombres complexes	Calculer et interpréter géométriquement la partie réelle, la partie imaginaire, le module et l'argument d'un nombre complexe Exemples : diagramme de Fresnel. Application aux systèmes triphasés : $\underline{a} = e^{i\frac{2\pi}{3}}$; $1 + \underline{a} + \underline{a}^2 = 0$
Calcul matriciel	Effectuer le produit d'une matrice par un vecteur Exemple : calcul du moment dynamique Choisir une base pour simplifier la structure d'une matrice Exemple : simplification d'une matrice d'inertie