

A – Analyser

A1 Identifier le besoin et les exigences

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
Cahier des charges : - diagramme des exigences - diagramme des cas d'utilisation	Décrire le besoin Traduire un besoin fonctionnel en exigences Présenter la fonction globale Définir les domaines d'application, les critères technico-économiques Identifier les contraintes Identifier et caractériser les fonctions Qualifier et quantifier les exigences (critère, niveau)	S1	
<i>Commentaires</i> Les diagrammes SysML sont présentés uniquement à la lecture. La connaissance de la syntaxe du langage SysML n'est pas exigible.			
Impact environnemental	Évaluer l'impact environnemental (matériaux, énergies, nuisances)	S1	
<i>Commentaires</i> Il s'agit de sensibiliser les élèves au développement durable.			

A2 Définir les frontières de l'analyse

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
Frontière de l'étude Milieu extérieur	Isoler un système et justifier l'isolement Définir les éléments influents du milieu extérieur	S2	
Flux échangés	Identifier la nature des flux échangés (matière, énergie, information) traversant la frontière d'étude	S2	

A3 Appréhender les analyses fonctionnelle et structurelle

Au premier semestre, les analyses fonctionnelles et structurelles seront limitées à la lecture. Elles permettent à l'élève d'appréhender la complexité du système étudié et de décrire les choix technologiques effectués par le constructeur. Au terme du second semestre, l'élève ayant choisi l'option SI devra être capable de proposer un outil de description du système étudié.

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
Architectures fonctionnelle et structurelle : - diagrammes de définition de blocs - chaîne directe - système asservi - commande	Analyser les architectures fonctionnelle et structurelle Identifier les fonctions des différents constituants Identifier la structure d'un système asservi : chaîne directe, capteur, commande, consigne, comparateur, correcteur Identifier et positionner les perturbations Différencier régulation et poursuite	S1	
	Repérer les constituants dédiés aux fonctions d'un système	Option SI	
<i>Commentaires</i> Il faut insister sur la justification de l'asservissement par la présence de perturbations			
Chaîne d'information et d'énergie : - diagramme de blocs internes - diagramme paramétrique	Identifier et décrire la chaîne d'information et la chaîne d'énergie du système Identifier les liens entre la chaîne d'énergie et la chaîne d'information Identifier les constituants de la chaîne d'information	S1	

	réalisant les fonctions acquérir, coder, communiquer, mémoriser, restituer, traiter Identifier les constituants de la chaîne d'énergie réalisant les fonctions agir, alimenter, convertir, moduler, transmettre, stocker		
	Identifier les constituants de la chaîne d'information réalisant les fonctions acquérir, coder, communiquer, mémoriser, restituer, traiter Identifier les constituants de la chaîne d'énergie réalisant les fonctions agir, alimenter, convertir, moduler, transmettre, stocker	Option SI	
	Vérifier l'homogénéité et la compatibilité des flux entre les différents constituants Identifier la nature et les caractéristiques des flux échangés		S4
<i>Commentaires</i> <i>Cette description permet de construire une culture de solutions industrielles.</i>			
Systèmes à événements discrets : - diagramme de séquences - diagramme d'états	Interpréter tout ou partie de l'évolution temporelle d'un système	S2	

A4 Caractériser des écarts

La caractérisation des écarts est essentielle et commence dès le premier semestre.

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
Identification des écarts	Extraire du cahier des charges les grandeurs pertinentes Exploiter et interpréter les résultats d'un calcul ou d'une simulation		S4
	Traiter des données de mesures et en extraire les caractéristiques statistiques	Option SI	
<i>Commentaires</i> <i>Il faut insister sur la pertinence du choix des grandeurs à évaluer.</i>			
Quantification des écarts	Quantifier des écarts entre des valeurs attendues et des valeurs mesurées Quantifier des écarts entre des valeurs attendues et des valeurs obtenues par simulation Quantifier des écarts entre des valeurs mesurées et des valeurs obtenues par simulation		S4
<i>Commentaires</i> <i>Les résultats simulés et expérimentaux sont fournis.</i>			
Interprétation des écarts obtenus	Vérifier la cohérence du modèle choisi avec les valeurs souhaitées du cahier des charges Rechercher et proposer des causes aux écarts constatés		S4
	Vérifier la cohérence des résultats d'expérimentation avec les valeurs souhaitées du cahier des charges Vérifier la cohérence du modèle choisi avec des résultats d'expérimentation	Option SI	

A5 Apprécier la pertinence et la validité des résultats

L'évaluation de la pertinence des résultats commence dès le premier semestre.

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
Grandeurs utilisées : - unités du système international - homogénéité des grandeurs	Utiliser des symboles et des unités adéquates Vérifier l'homogénéité des résultats	S1	
Ordres de grandeur	Prévoir l'ordre de grandeur Identifier des valeurs erronées Valider ou proposer une hypothèse		S4

B – Modéliser

B1 Identifier et caractériser les grandeurs physiques

En fonction de la complexité des grandeurs physiques utilisées, celles-ci seront données au semestre 1 et exigées au semestre 2.

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
Caractéristiques des grandeurs physiques : - nature physique - caractéristiques fréquentielles - caractéristiques temporelles	Qualifier les grandeurs d'entrée et de sortie d'un système isolé Identifier la nature (grandeur effort, grandeur flux) Décrire l'évolution des grandeurs	S2	
<i>Commentaires</i> <i>Le point de vue de l'étude conditionne le choix de la grandeur d'effort ou de la grandeur de flux à utiliser.</i> <i>La dualité temps-fréquence est mise en évidence.</i>			
Flux de matière Flux d'information	Qualifier la nature des matières, quantifier les volumes et les masses Identifier la nature de l'information et la nature du signal	S2	
Énergie Puissance Rendement	Associer les grandeurs physiques aux échanges d'énergie et à la transmission de puissance Identifier les pertes d'énergie Évaluer le rendement d'une chaîne d'énergie en régime permanent Déterminer la puissance des actions mécaniques extérieures à un solide ou à un ensemble de solides, dans son mouvement rapport à un autre solide Déterminer la puissance des actions mécaniques intérieures à un ensemble de solides		S3
<i>Commentaires</i> <i>La puissance est toujours égale au produit d'une grandeur « effort » (force, couple, pression, tension électrique, température) par une grandeur « flux » (vitesse, vitesse angulaire, débit volumique, intensité du courant, flux d'entropie).</i>			

B2 Proposer un modèle de connaissance et de comportement

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
Chaîne d'énergie et d'information	Construire un modèle multiphysique simple Définir les paramètres du modèle	Option SI	
<i>Commentaires</i> <i>Un logiciel de modélisation acausale sera privilégié pour la modélisation des systèmes multiphysiques.</i>			
Systèmes linéaires continus et invariants : - modélisation par équations différentielles - calcul symbolique - fonction de transfert ; gain, ordre, classe, pôles et zéros	Déterminer les fonctions de transfert à partir d'équations physiques (modèle de connaissance)	S1	
<i>Commentaires</i> <i>L'utilisation de la transformée de Laplace ne nécessite aucun prérequis. Sa présentation se limite à son énoncé et aux propriétés du calcul symbolique strictement nécessaires à ce cours. Les théorèmes de la valeur finale de la valeur initiale et du retard sont donnés sans démonstration.</i>			
Signaux canoniques d'entrée : - impulsion - échelon - rampe - signaux sinusoïdaux	Caractériser les signaux canoniques d'entrée	S1	
Schéma-bloc : - fonction de transfert en chaîne directe - fonction de transfert en boucle ouverte et en boucle fermée	Analyser ou établir le schéma-bloc du système Déterminer les fonctions de transfert	S1	
Linéarisation des systèmes non linéaires	Linéariser le modèle autour d'un point de fonctionnement		S3
Modèles de comportement	Renseigner les paramètres caractéristiques d'un modèle de comportement (premier ordre, deuxième ordre, dérivateur, intégrateur, gain, retard)	S1	
<i>Commentaires</i> <i>Un modèle de comportement est associé à une réponse expérimentale donnée.</i>			
Solide indéformable : - définition - référentiel, repère - équivalence solide/référentiel - degrés de liberté - vecteur-vitesse angulaire de deux référentiels en mouvement l'un par rapport à l'autre	Paramétrer les mouvements d'un solide indéformable Associer un repère à un solide Identifier les degrés de liberté d'un solide par rapport à un autre solide	S1	
<i>Commentaires</i> <i>Le paramétrage avec les angles d'Euler ou les angles de roulis, de tangage et de lacet est présenté, mais la maîtrise de ces angles n'est pas exigible.</i>			

Modélisation plane	Préciser et justifier les conditions et les limites de la modélisation plane	S2	
Torseur cinématique	Déterminer le torseur cinématique d'un solide par rapport à un autre solide	S2	
<i>Commentaires</i> Seuls les éléments essentiels de la théorie des torseurs - opérations, invariants, axe central, couple et glisseur – sont présentés.			
Centre d'inertie Opérateur d'inertie Matrice d'inertie Torseur cinétique Torseur dynamique Énergie cinétique	Déterminer le torseur dynamique d'un solide, ou d'un ensemble de solides, par rapport à un autre solide Déterminer l'énergie cinétique d'un solide, ou d'un ensemble de solides, dans son mouvement par rapport à un autre solide		S3
<i>Commentaires</i> Les calculs des éléments d'inertie (matrice d'inertie, centre d'inertie) ne donnent pas lieu à évaluation. La relation entre la forme de la matrice d'inertie et la géométrie de la pièce est exigible.			
Actions mécaniques : - modélisation locale, actions à distance et de contact - modélisation globale, torseur associé - lois de Coulomb ; adhérence et glissement - résistance au roulement et au pivotement	Associer un modèle à une action mécanique Déterminer la relation entre le modèle local et le modèle global	S2	
Liaisons : - géométrie des contacts entre deux solides - définition du contact ponctuel entre deux solides : roulement, pivotement, glissement, condition cinématique de maintien du contact - définition d'une liaison - liaisons normalisées entre solides, caractéristiques géométriques et repères d'expression privilégiés - torseur cinématique des liaisons normalisées - torseur des actions mécaniques transmissibles dans les liaisons normalisées - associations de liaisons en série et en parallèle - liaisons cinématiquement équivalentes	Proposer une modélisation des liaisons avec une définition précise de leurs caractéristiques géométriques Associer le paramétrage au modèle retenu Associer à chaque liaison son torseur cinématique Associer à chaque liaison son torseur d'actions mécaniques transmissibles	S2	
<i>Commentaires</i> L'analyse des surfaces de contact entre deux solides et de leur paramétrage associé permet de mettre en évidence les degrés de libertés entre ces solides. Les normes associées aux liaisons usuelles seront fournies. Les conditions et les limites de la modélisation plane sont précisées et justifiées.			

Systèmes logiques : - codage de l'information - binaire naturel, binaire réfléchi - représentation hexadécimale - table de vérité - opérateurs logiques fondamentaux (ET, OU, NON)	Coder une information Exprimer un fonctionnement par des équations logiques	S2	
<i>Commentaires</i> La table de vérité est réservée à la représentation de systèmes logiques, mais elle ne sera pas utilisée pour la simplification des équations logiques.			
Systèmes à événements discrets Chronogramme	Représenter tout ou partie de l'évolution temporelle	S2	
Structures algorithmiques : - variables - boucles, conditions, transitions conditionnelles	Décrire et compléter un algorithme représenté sous forme graphique	S2	
<i>Commentaires</i> La présentation graphique permet de s'affranchir d'un langage de programmation spécifique.			

B3 Valider un modèle

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
Pôles dominants et réduction de l'ordre du modèle : - principe - justification	Réduire l'ordre de la fonction de transfert selon l'objectif visé, à partir des pôles dominants qui déterminent la dynamique asymptotique du système		S3
Grandeurs influentes d'un modèle	Déterminer les grandeurs influentes Modifier les paramètres et enrichir le modèle pour minimiser l'écart entre les résultats simulés et les réponses mesurées	Option SI	

C – Résoudre

C1 Proposer une démarche de résolution

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
Chaînes de solides : - principe fondamental de la dynamique - théorème de l'énergie cinétique	Proposer une démarche permettant la détermination de la loi de mouvement Proposer une méthode permettant la détermination d'une inconnue de liaison Choisir une méthode pour déterminer la valeur des paramètres conduisant à des positions d'équilibre		S3
<i>Commentaires</i> Le principe fondamental de la statique est proposé comme un cas particulier du principe fondamental de la dynamique.			

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

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
Réponses temporelle et fréquentielle : - systèmes du 1 ^{er} et du 2 ^e ordre - intégrateur	Déterminer la réponse temporelle Déterminer la réponse fréquentielle Tracer le diagramme asymptotique de Bode	S1	
<i>Commentaires</i> Seule la connaissance de la réponse temporelle à un échelon est exigible. Seul le diagramme de Bode est au programme.			
Stabilité des SLCI : - définition entrée bornée - sortie bornée (EB-SB) - équation caractéristique - position des pôles dans le plan complexe - marges de stabilité (de gain et de phase)	Analyser la stabilité d'un système à partir de l'équation caractéristique Déterminer les paramètres permettant d'assurer la stabilité du système Relier la stabilité aux caractéristiques fréquentielles		S3
<i>Commentaires</i> La définition de la stabilité est faite au sens : entrée bornée - sortie bornée (EB - SB). Il faut insister sur le fait qu'un système perturbé conserve la même équation caractéristique dans le cas de perturbations additives.			
Rapidité des SLCI : - temps de réponse à 5 % - bande passante	Prévoir les performances en termes de rapidité Relier la rapidité aux caractéristiques fréquentielles	S1	
Précision des SLCI : - erreur en régime permanent - influence de la classe de la fonction de transfert en boucle ouverte	Déterminer l'erreur en régime permanent vis-à-vis d'une entrée en échelon ou en rampe (consigne ou perturbation) Relier la précision aux caractéristiques fréquentielles		S3
<i>Commentaires</i> Il faut insister sur la nécessité de comparer des grandeurs homogènes, par exemple la nécessité d'adapter la sortie et sa consigne. L'erreur est la différence entre la valeur de la consigne et celle de sortie.			
Correction	Déterminer les paramètres d'un correcteur proportionnel, proportionnel intégral et à avance de phase		S3
<i>Commentaires</i> Les relations entre les paramètres de réglage sont fournies.			
Loi entrée – sortie géométrique	Déterminer la loi entrée - sortie géométrique d'une chaîne cinématique	S2	
Dérivée temporelle d'un vecteur par rapport à un référentiel Relation entre les dérivées temporelles d'un vecteur par rapport à deux référentiels distincts Loi entrée – sortie cinématique Composition des vitesses angulaires Composition des vitesses	Déterminer les relations de fermeture de la chaîne cinématique Déterminer la loi entrée - sortie cinématique d'une chaîne cinématique	S2	
<i>Commentaires</i> Pour la dérivée d'un vecteur, on insiste sur la différence entre référentiel d'observation et éventuelle base d'expression du résultat. La maîtrise des méthodes graphiques n'est pas exigible.			

Principe fondamental de la statique Équilibre d'un solide, d'un ensemble de solides Théorème des actions réciproques Modèles avec frottement : arc-boutement	Déterminer les inconnues de liaison Déterminer la valeur des paramètres conduisant à des positions d'équilibre (par exemple l'arc-boutement)	S2	
<i>Commentaires</i> <i>Le principe fondamental de la statique est proposé comme un cas particulier du principe fondamental de la dynamique.</i> <i>L'étude des conditions d'équilibre pour les mécanismes qui présentent des mobilités constitue une première sensibilisation au problème de recherche des équations de mouvement étudié en seconde année.</i> <i>Les conditions et les limites de la modélisation plane sont précisées et justifiées.</i> <i>La maîtrise des méthodes graphiques n'est pas exigible.</i>			
Principe fondamental de la dynamique Conditions d'équilibrage statique et dynamique	Déterminer les inconnues de liaison ou les efforts extérieurs spécifiés dans le cas où le mouvement est imposé Déterminer la loi du mouvement sous forme d'équations différentielles dans le cas où les efforts extérieurs sont connus		S3
<i>Commentaires</i> <i>Le modèle utilisé est isostatique.</i>			
Inertie équivalente Théorème de l'énergie cinétique ou théorème de l'énergie/puissance	Déterminer la loi du mouvement sous forme d'équations différentielles dans le cas où les efforts extérieurs sont connus		S4

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

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
Paramètres de résolution numérique : - durée de calcul - pas de calcul	Choisir les valeurs des paramètres de la résolution numérique	Option SI	
Grandeurs simulées	Choisir les grandeurs physiques tracées	Option SI	
<i>Commentaires</i> <i>Le choix des grandeurs analysées doit être en lien avec les performances à vérifier.</i>			

D – Communiquer

D1 Rechercher et traiter des informations

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
Informations techniques	Extraire les informations utiles d'un dossier technique	S2	
Schémas cinématique, électrique, hydraulique et pneumatique	Lire et décoder un schéma		S4
<i>Commentaires</i> Les normes de représentation des schémas sont fournies.			
Langage SysML	Lire et décoder un diagramme	S2	
<i>Commentaires</i> Les normes de représentation du langage SysML sont fournies et la connaissance de la syntaxe n'est pas exigible.			

D2 Mettre en œuvre une communication

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
Outils de communication	Choisir les outils de communication adaptés par rapport à l'interlocuteur Faire preuve d'écoute et confronter des points de vue Présenter les étapes de son travail Présenter de manière argumentée une synthèse des résultats	Option SI	
<i>Commentaires</i> Les outils de communication sont découverts au travers des activités expérimentales.			
Langage technique	Décrire le fonctionnement du système en utilisant un vocabulaire adéquat		S4
Schémas cinématique, électrique	Réaliser un schéma cinématique Réaliser un schéma électrique	S2	
<i>Commentaires</i> Les normes de représentation sont fournies.			

E – Expérimenter

Cette partie ne concerne que les élèves qui choisissent l'option sciences de l'ingénieur en première année.

E1 S'approprier le fonctionnement d'un système pluritechnologique

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
Chaîne d'énergie	Repérer les différents constituants de la chaîne d'énergie	Option SI	
Chaîne d'information	Repérer les différents constituants de la chaîne d'information	Option SI	
Paramètres influents	Régler les paramètres de fonctionnement d'un système Mettre en évidence l'influence des paramètres sur les performances du système	Option SI	
<i>Commentaires</i> Les activités expérimentales permettent d'appréhender les incompatibilités entre les exigences de performances.			

E2 Proposer et justifier un protocole expérimental

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
Modèles de comportement d'un système	Prévoir l'allure de la réponse attendue Prévoir l'ordre de grandeur de la mesure	Option SI	
Protocoles expérimentaux	Choisir les configurations matérielles du système en fonction de l'objectif visé Choisir la grandeur physique à mesurer ou justifier son choix Choisir les entrées à imposer pour identifier un modèle de comportement	Option SI	

E3 Mettre en œuvre un protocole expérimental

Connaissances	Savoir-faire	1 ^{re} année	2 ^e année
Règles de sécurité élémentaires	Mettre en œuvre un système complexe en respectant les règles de sécurité	Option SI	
<i>Commentaires</i> <i>Les règles de sécurité sont découvertes au travers des activités expérimentales.</i>			
Paramètres de configuration du système	Régler les paramètres de fonctionnement d'un système	Option SI	
Routines, procédures Systèmes logiques à événements discrets	Générer un programme et l'implanter dans le système cible	Option SI	
Modèles de comportement	Extraire les grandeurs désirées et les traiter	Option SI	
Identification temporelle d'un modèle de comportement	Identifier les paramètres caractéristiques d'un modèle du premier ordre ou du deuxième ordre à partir de sa réponse indicielle	Option SI	
<i>Commentaires</i> <i>Les abaques nécessaires à l'identification sont fournis.</i>			
Identification fréquentielle d'un modèle de comportement	Identifier les paramètres caractéristiques d'un modèle de comportement à partir de sa réponse fréquentielle Associer un modèle de comportement (premier ordre, deuxième ordre, intégrateur, gain) à partir de sa réponse fréquentielle	Option SI	
<i>Commentaires</i> <i>D'un point de vue fréquentiel, seul le diagramme de Bode est développé pour l'identification d'un modèle de comportement.</i>			