

N°6
28 AOÛT
2003

Page 1357
à 1392

Le

BO

BULLETIN OFFICIEL DU MINISTÈRE DE LA JEUNESSE,
DE L'ÉDUCATION NATIONALE ET DE LA RECHERCHE

**NUMÉRO
HORS-SÉRIE**

● ORGANISATION ET PROGRAMMES
DES CLASSES PRÉPARATOIRES
AUX GRANDES ÉCOLES

VOLUME 11

ministère

jeunesse
éducation
recherche



ORGANISATION ET PROGRAMMES DES CLASSES PRÉPARATOIRES AUX GRANDES ÉCOLES

Le volume 11 fait suite aux dix volumes qui recueillent l'ensemble des textes relatifs au dispositif réglementaire applicable aux CPGE (B.O. hors-série "Organisation et programmes des classes préparatoires aux grandes écoles" datés des 20, 27 juillet 1995, 18 juillet 1996, 9 avril 1998, 26 juin 2003 et 28 août 2003).

VOLUME 11

1359 **Programmes de première année de sciences industrielles des classes préparatoires scientifiques, mathématiques, physique et sciences de l'ingénieur (MPSI), physique, chimie et sciences de l'ingénieur (PCSI), physique, technologie et sciences de l'ingénieur (PTSI)**

A. du 1-7-2003. JO du 10-7-2003 (NOR : MENS0301439A)

Annexes

1360 **Annexe 1** : Programme de sciences industrielles pour l'ingénieur dans la filière MPSI

1370 **Annexe 2** : Programme de sciences industrielles pour l'ingénieur dans la filière PCSI

1379 **Annexe 3** : Programme de sciences industrielles pour l'ingénieur dans la filière PTSI



Directrice de la publication : Catherine Rouillé - **Directrice de la rédaction** : Nicole Krasnopolski - **Rédacteur en chef** : Jacques Aranhas - **Rédactrice en chef adjointe** : Laurence Martin - **Rédacteur en chef adjoint** (textes réglementaires) : Hervé Célestin - **Secrétaire générale de la rédaction** : Micheline Burgos - **Préparation technique** : Monique Hubert - **Chef-maquettiste** : Bruno Lefebvre - **Maquettistes** : Laurette Adolphe-Pierre, Béatrice Heuline, Eric Murail, Karin Olivier, Pauline Ranck ● **RÉDACTION ET RÉALISATION** : **Délégation à la communication**, bureau des publications, 110, rue de Grenelle, 75357 Paris 07 SP. Tél. 01 55 55 34 50, fax 01 45 51 99 47 ● **DIFFUSION ET ABONNEMENT** : **CNDP Abonnements**, B - 750 - 60732 STE GENEVIÈVE CEDEX. Tél. 03 44 03 32 37, fax 03 44 03 30 13. ● **Le B.O.** est une publication du ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche.

● Le numéro : 2,30 € ● Abonnement annuel : 77 € ● ISSN 1268-4791 ● CPPAP n° 777 AD - Imprimerie : Maulde et Renou.

PROGRAMMES DE PREMIÈRE ANNÉE DE SCIENCES INDUSTRIELLES DES CLASSES PRÉPARATOIRES SCIENTIFIQUES, MATHÉMATIQUES, PHYSIQUE ET SCIENCES DE L'INGÉNIEUR (MPSI), PHYSIQUE, CHIMIE ET SCIENCES DE L'INGÉNIEUR (PCSI), PHYSIQUE, TECHNOLOGIE ET SCIENCES DE L'INGÉNIEUR (PTSI)

A. 1-7-2003. JO du 10-7-2003
NOR : MENS0301439A
RLR : 471-1b ; 471-1c ; 471-1d
MEN - DES A9

Vu code de l'éducation ; D. n° 94-1015 du 23-11-1994 not., art. 11 ; A. du 10-2-1995 ; A. du 10-2-1995 ; arrêtés du 3-7-1995 ; avis du ministre de la défense du 19-5-2003 ; avis du CSE du 5-6-2003 ; avis du CNESE du 12-5-2003

Article 1 - Les programmes de sciences industrielles figurant en annexe aux arrêtés du 3 juillet 1995 susvisés sont remplacés par ceux annexés au présent arrêté à compter de l'année scolaire 2003-2004.

Article 2 - Le directeur de l'enseignement supérieur est chargé de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Fait à Paris, le 1er juillet 2003
Pour le ministre de la jeunesse,
de l'éducation nationale et de la recherche
et par délégation,
Le directeur de l'enseignement supérieur
Jean-Marc MONTEIL

Annexe 1

PROGRAMME DE SCIENCES INDUSTRIELLES POUR L'INGÉNIEUR DANS LA FILIÈRE MPSI

1 - OBJECTIFS DE FORMATION

1.1 Finalités

L'enseignement des sciences industrielles pour l'ingénieur permet d'aborder avec méthode et rigueur l'analyse de réalisations industrielles. Il renforce l'interdisciplinarité et développe des aptitudes à modéliser des systèmes manufacturés, à déterminer leurs grandeurs caractéristiques, à communiquer et à interpréter les résultats obtenus en vue de déterminer et vérifier les performances du système réel. Les systèmes choisis relèvent des grands secteurs technologiques : transport, production, bâtiment, santé, environnement... Les concepts et outils présentés sont transposables à l'ensemble des secteurs industriels.

L'approche système permet d'appréhender la complexité des situations concrètes. Leur étude passe par des phases de modélisation successives qui s'appuient à la fois sur les principes physiques du système, sur sa réalité industrielle et sur ses finalités exprimées en terme de fonctions.

Les finalités de cet enseignement sont de développer les capacités et les connaissances pour analyser et modéliser des cas concrets, vérifier des performances et communiquer des résultats en s'appuyant sur la maîtrise d'outils fondamentaux de la mécanique, de la dynamique des systèmes linéaires et de la commande temps réel, ainsi que sur les connaissances de base des technologies associées.

1.2 Objectifs généraux

L'enseignement et l'évaluation des connaissances en sciences de l'ingénieur reposent sur l'analyse et la critique des systèmes techniques industrialisés existants. Celles-ci permettent, d'une part, d'analyser les besoins, la structure, l'évolution, la modélisation de l'existant et, d'autre part, d'analyser des architectures définies par un cahier des charges.

À partir de supports industriels placés dans leur environnement technologique, les étudiants devront être capables :

- d'analyser des réalisations industrielles en :
 - . conduisant l'analyse fonctionnelle (blocs fonctionnels) ;
 - . décrivant le fonctionnement avec les outils de la communication technique ;
 - . conduisant l'analyse structurelle des blocs fonctionnels principaux (architecture et composants) ;
 - de modéliser, définir et choisir un modèle en formulant les hypothèses nécessaires ;
 - de vérifier les performances globales et le comportement de certains constituants en s'appuyant sur la modélisation et en comparant, par l'association de blocs fonctionnels, des solutions par rapport à un besoin exprimé ;
 - de revenir sur la modélisation retenue si nécessaire.

La communication, les représentations et les simulations reposent sur l'utilisation des langages techniques et de l'outil informatique.

2 - PROGRAMME

2.1 Présentation

L'enseignement des sciences industrielles pour l'ingénieur est organisé autour de l'étude des systèmes techniques industrialisés. Il est abordé dans ses dimensions cognitives, systémiques et méthodologiques.

Cette approche, fondée sur l'étude de solutions industrielles doit privilégier l'acquisition des connaissances de base présentées dans les différentes parties du programme. Ces connaissances sont dispensées et structurées non seulement pendant les cours théoriques

mais également à travers des activités dirigées et expérimentales. Celles-ci pourront se dérouler plus favorablement dans un laboratoire de sciences de l'ingénieur ou dans une salle dédiée et seront conduites à partir :

- de dossiers techniques incluant des documents multimédia ;
- de supports physiques dédiés (systèmes didactisés ou non) ;
- d'outils de simulation.

Pour assurer la cohérence du programme, la totalité de l'enseignement est assurée par un même professeur agrégé de mécanique ou de génie mécanique.

Les différentes parties du programme sont présentées en donnant pour chacune :

- les contenus accompagnés de commentaires ;
- les compétences attendues. Celles-ci doivent être acquises en respectant les échéances de fin de première période et de fin de première année.

Notamment, les compétences acquises à la fin de la première période de première année doivent permettre :

- de situer un système dans son domaine d'activité ;
- d'identifier les matières d'œuvres entrantes et sortantes ;
- de préciser les caractéristiques de la valeur ajoutée ;
- de caractériser la fonction globale du système ;
- d'identifier et de caractériser les éléments de structure fonctionnelle (partie opérative et partie commande, sous-ensembles fonctionnels, chaînes fonctionnelles et axes) ;
- d'identifier certaines caractéristiques liées à la structure physique du système et à la modélisation retenue : modèle du premier ordre (gain statique, constante de temps), modèle du second ordre (gain statique, coefficient d'amortissement, pulsation propre non amortie) ;
- pour un mécanisme, de caractériser les champs des vecteurs-vitesse et les champs des vecteurs-accélération.

2.2 Lignes directrices du programme

2.2.1 Étude fonctionnelle et structurelle des systèmes

Cette étude permet d'analyser l'organisation fonctionnelle et structurelle de produits industriels conduisant à la compréhension de leur fonctionnement et à une justification de leur architecture.

Elle permet d'acquérir une culture des solutions industrielles qui facilite la compréhension et l'appropriation de tout système nouveau. Elle s'appuie sur des méthodes d'analyse et des outils reconnus et performants qui permettent d'associer respectivement des ensembles de constituants, ou des constituants uniques, aux fonctions principales et secondaires d'un système industriel.

Elle permet le développement de l'esprit critique vis à vis des solutions employées dans la conception des systèmes.

Les activités de conception ne sont pas au programme de MPSI.

Les outils de la communication technique et de l'expression technologique dans leur diversité et leur complémentarité permettent de lire et de s'exprimer dans le domaine des sciences de l'ingénieur.

La communication technique est abordée sous le double aspect :

- de l'utilisation élémentaire des langages spécifiques que sont les schémas, les graphes et la représentation volumique graphique et assistée par ordinateur,
- de la maîtrise du vocabulaire technique qui permet la description écrite et orale du fonctionnement ou du comportement des systèmes étudiés.

2.2.2 Étude des performances des systèmes

Cette étude permet de valider certains critères de performance industrielle dans l'environnement socio-économique, culturel et historique.

Elle s'appuie sur la maîtrise d'outils fondamentaux de la mécanique, de la modélisation, de la dynamique des systèmes linéaires et de la commande en temps réel des systèmes, ainsi que sur les connaissances

de base des technologies associées et sur une démarche expérimentale.

Les connaissances acquises dans l'ensemble des disciplines sont utilisées pour analyser le fonctionnement et vérifier les performances des systèmes étudiés.

Des conclusions argumentées doivent être tirées des résultats d'expérimentations, de calculs ou de simulations au regard des hypothèses formulées et des méthodes utilisées. Il est nécessaire d'insister sur les vertus et les limites de la modélisation utilisée dans la démarche. L'enseignement de la mécanique et plus généralement des sciences

de l'ingénieur conduit à appliquer les lois générales et les concepts à des objets ou des systèmes manufacturés. Ces lois et ces concepts sont étudiés ou mis en évidence lors des activités de travaux dirigés. L'enseignement de l'automatique se limite aux connaissances de base nécessaires pour l'étude des systèmes linéaires, continus et invariants et des systèmes logiques.

L'utilisation de l'outil informatique, pendant les activités de travaux dirigés, exploitant des logiciels de modélisation, de calcul ou de simulation, permet une étude plus précise du comportement des systèmes étudiés.

PROGRAMME

Remarques préliminaires

Ce programme a été construit en prenant en compte la structure particulière de la filière MPSI (choix d'option en fin de première période) et les nouveaux programmes de mathématiques et de sciences physiques. Dans cet esprit, l'ordre du programme est imposé en première période. En deuxième période, la liberté pédagogique de chaque enseignant prévaut.

Les connaissances associées à l'étude fonctionnelle et structurelle et à l'étude des performances des systèmes sont précisées dans la colonne de gauche, les compétences attendues sont décrites parmi les commentaires, dans la colonne de droite.

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>Première période (tronc commun)</p> <p>I - Étude des systèmes</p> <p>1) Présentation générale des systèmes : - matière d'œuvre ; - valeur ajoutée ; - fonction ; - performance.</p> <p>2) Classification selon : - le domaine d'application ; - la nature de la matière d'œuvre ; - la nature des flux ; - les critères technico-économiques.</p> <p>3) Chaînes fonctionnelles : - partie commande, partie opérative ; - relations entre partie commande et partie opérative ; - relations entre partie commande et opérateur ; - distinction des chaînes d'information et d'énergie ; - identification et description des constituants.</p>	<p>Les activités sont organisées à partir : - de dossiers techniques incluant des documents multimédia ; - de supports physiques dédiés (systèmes didactisés ou non) ; - d'outils de simulation numérique.</p> <p>Ces activités d'étude des systèmes pourront se dérouler plus favorablement dans un laboratoire de sciences de l'ingénieur ou dans une salle dédiée et peuvent être introduites dès le début de l'année scolaire. Elles serviront de présentation pour l'enseignement dispensé tout au long des deux années de formation.</p> <p>L'étude des chaînes fonctionnelles comme sous-ensembles de systèmes permet de construire une base de données de solutions industrielles associées aux fonctions principales (transférer, réguler, positionner, maintenir, transformer,...).</p> <p>Les constituants des chaînes fonctionnelles (capteurs, préactionneurs, actionneurs, transmetteurs,...) sont décrits en vue de leur identification. Les compétences acquises doivent permettre : - de situer le système industriel dans son domaine d'activité ; - d'identifier les matières d'œuvre entrantes et sortantes du système ; - de préciser les caractéristiques de la valeur ajoutée par le système ; - de déterminer ou calculer certaines performances et les comparer aux caractéristiques du dossier technique ; - d'identifier et caractériser les éléments de structure (sous-ensembles fonctionnels, chaînes fonctionnelles, partie opérative et partie commande).</p>

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>II - Communication technique</p>	
<p>1) Lecture de documents techniques.</p>	<p>Les documents techniques proposés (perspectives, vues éclatées, photos, documents multimédia ...) sont directement interprétables par un bachelier scientifique.</p>
<p>2) Les modèles de description fonctionnels et structurels ; Cahier des Charges Fonctionnel.</p>	<p>La maîtrise progressive des outils et du vocabulaire de communication technique se fera à partir :</p> <ul style="list-style-type: none"> - de dossiers techniques incluant les documents multimédias ; - de supports physiques dédiés (systèmes didactisés ou non) ; - d'outils de simulation numérique. <p>Le Cahier des Charges Fonctionnel est l'outil privilégié pour associer les performances attendues aux fonctions à satisfaire par un système. L'outil de représentation FAST est privilégié pour l'analyse fonctionnelle et structurelle des systèmes. L'outil de représentation SADT est privilégié pour la décomposition structurelle en sous-ensembles fonctionnels. Tout autre outil de description est hors programme. En première période, ces outils ne sont proposés qu'à la lecture. Les compétences acquises doivent permettre d'analyser tout ou partie d'un système par un modèle de description adapté au point de vue préalablement spécifié.</p>
<p>III - Automatique</p>	
<p>A - Présentation</p>	
<ul style="list-style-type: none"> - Buts et motivations. - Bref historique. - Exemples. - Information : logique ; événement et variable à niveau ; analogique et numérique. - Définition et structure d'un système asservi : chaîne directe, chaîne de retour, comparateur, écart. - Consigne. Perturbation. - Régulation. Poursuite. - Définition des performances : rapidité, précision, stabilité. 	<p>Cette partie doit permettre la présentation de la discipline, de ses domaines d'application, de son but, de son évolution. La diversité des systèmes automatiques rencontrés permet d'illustrer efficacement cette présentation, en particulier en introduisant une classification de la nature des informations traitées. Tous les systèmes abordés en première année sont stables. La modélisation des systèmes étudiés devra être justifiée progressivement à partir de résultats expérimentaux.</p>
<p>B - Modélisation et comportement des systèmes linéaires continus et invariants</p>	
<p>1) Systèmes linéaires, continus et invariants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - modélisation par équations différentielles ; - calcul symbolique, - représentation par fonction de transfert, forme canonique, gain, ordre, pôles et zéros ; - cas des systèmes du premier et du deuxième ordre, de l'intégrateur et du dérivateur. 	<p>On rappelle que ces équations différentielles sont issues des lois de conservation (masse, énergie,...) de la physique. L'utilisation de la transformée de Laplace ne nécessite aucun pré-requis. Sa présentation se limite à son énoncé et aux propriétés du calcul symbolique strictement nécessaires à ce cours. Les théorèmes de la valeur finale et de la valeur initiale sont donnés sans démonstration. Une attention particulière sera apportée à la notion de modélisation linéaire autour d'un point de fonctionnement.</p>
<p>2) Représentation par schémas-blocs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - transformation et réduction de schémas blocs ; - fonction de transfert en boucle ouverte et fonction de transfert en boucle fermée. 	<p>Le caractère physique et ou informationnel des grandeurs définissant les liens entre blocs doit toujours être précisé avec soin. Concernant les transformations et réductions de schémas-blocs, on insistera sur le fait qu'elles éloignent le modèle de la réalité physique du système.</p>

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>3) Signaux canoniques d'entrée : - réponse temporelle pour les systèmes du premier et du second ordre ; étude des cas particuliers des réponses pour une entrée en échelon pour les systèmes du premier et du deuxième ordre ; - temps de réponse pour une entrée en échelon ; - réponse fréquentielle pour les systèmes du premier et du second ordre, diagrammes de Bode.</p>	<p>Les signaux canoniques d'entrée se limitent à l'impulsion, l'échelon, la rampe et le signal sinusoïdal.</p> <p>Du point de vue de la représentation du comportement fréquentiel, seul le diagramme de Bode est développé. Les diagrammes de Black et de Nyquist ne sont donnés qu'à titre indicatif.</p> <p>Les compétences acquises doivent permettre, à partir d'un système modélisé comme un premier ou un second ordre, de prévoir les réponses temporelles et fréquentielles.</p> <p>À partir d'un système asservi modélisé comme linéaire, continu et invariant ou matérialisé par une réalisation industrielle, les compétences acquises doivent permettre :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'analyser ou établir le schéma fonctionnel du système ; - d'analyser ou établir le schéma-bloc du système ; - de déterminer la fonction de transfert globale du système ; - de prévoir ses performances en rapidité. <p>Les exercices d'application du cours, ainsi que les calculs simples sont conduits analytiquement. Les développements et les calculs plus complexes peuvent faire l'objet d'un traitement informatique. Les résultats sont alors analysés.</p> <p>La stabilité et la précision des systèmes asservis sont au programme de deuxième année.</p>
<p>C - Identification à un modèle</p> <p>Généralités : modèles de connaissances et modèles de représentations. Modélisation et identification pour les systèmes du premier et deuxième ordre.</p>	<p>Ce chapitre ne nécessite pas de cours magistral mais des activités de travaux dirigés, en liaison avec la partie B, menées à partir de résultats expérimentaux.</p> <p>On insiste particulièrement sur les notions de système et de modèle, sur la réalité et la représentation mathématique qui en est faite.</p>
<p>IV - Mécanique</p> <p>Cinématique du solide indéformable</p>	<p>Dans tout ce chapitre, toutes les notions développées en physique lors du cours de cinématique non relativiste du point ne sont que rappelées pour être immédiatement placées dans le contexte de la cinématique du solide indéformable.</p> <p>Cette partie du programme s'appuie également sur les acquis de géométrie vectorielle dans \mathbb{R}^3 traité en mathématiques.</p> <p>On accepte dans ce cours le terme de solide pour solide indéformable.</p>
<p>1) Définition d'un solide indéformable. Référentiel : espace, temps. Repère attaché à un référentiel. Équivalence entre référentiel et solide indéformable.</p>	
<p>2) Paramétrage ; angles d'Euler ; trajectoire d'un point par rapport à un référentiel.</p>	
<p>3) Dérivée temporelle d'un vecteur par rapport à un référentiel. Relation entre les dérivées temporelles d'un vecteur par rapport à deux référentiels distincts. Vecteur-vitesse de rotation de deux référentiels en mouvement l'un par rapport à l'autre.</p>	<p>Pour la dérivée d'un vecteur, on insiste sur la différence entre référentiel d'observation et éventuelle base d'expression du résultat.</p>
<p>4) Champs des vecteurs-vitesse et des vecteurs-accélération pour un solide ; torseur distributeur des vitesses ; equiprojectivité du champ des vecteurs-vitesse. Axe instantané de viration. Composition des mouvements ; mouvements particuliers : translation et rotation.</p>	<p>À cette occasion, on introduit la théorie des torseurs. On n'en donne que les éléments essentiels : opérations, invariants, axe central, torseur couple et glisseur.</p> <p>À partir d'un système mécanique pour lequel un paramétrage est donné, les compétences acquises doivent permettre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - déterminer le torseur cinématique d'un solide par rapport à un autre solide ; - déterminer la trajectoire d'un point d'un solide par rapport à un autre solide ; - déterminer le vecteur accélération d'un point d'un solide par rapport à un autre solide.
<p>5) Applications au mouvement plan sur plan : centre instantané de rotation, théorème des trois plans glissants.</p>	

PROGRAMME	COMMENTAIRES
	<p>Les exercices d'application du cours, ainsi que les calculs simples sont conduits analytiquement ou graphiquement (dans le cas d'un problème plan). Les développements et les calculs plus complexes peuvent faire l'objet d'un traitement informatique. Les résultats sont alors analysés.</p> <p>Lors des travaux dirigés, une introduction aux liaisons entre solides (programme de seconde période) peut être envisagée sur des exemples simples.</p>
<p>Deuxième période</p> <p>I - Mécanique</p> <p>A - Modélisation cinématique des liaisons</p> <p>1) Contact entre solides : - Géométrie générale des contacts entre deux solides. - Degrés de mobilité. Cinématique du contact ponctuel entre deux solides : - roulement, pivotement, glissement. - condition cinématique de maintien du contact.</p> <p>2) Liaisons entre solides : définition. Liaisons normalisées entre solides : caractéristiques géométriques et repères d'expression privilégiés.</p> <p>3) Mécanismes. Structure d'un mécanisme : graphe des liaisons. Associations de liaisons en série et en parallèle ; liaisons cinématiquement équivalentes. Relations entre les vitesses issues de la fermeture de la chaîne cinématique.</p> <p>4) Cas particulier de la modélisation plane.</p>	<p>L'analyse des surfaces de contact entre deux solides et de leur paramétrage associé permet de mettre en évidence les degrés de mobilités entre ces solides.</p> <p>Les formes particulières que peut prendre le torseur distributeur des vitesses permettent d'en faire une classification. On en dégage une sous-classe de torseurs particuliers, permettant de définir des liaisons normalisées.</p> <p>Le graphe des liaisons a pour fonction de répertorier les sous-ensembles cinématiques d'une chaîne de solides et les liaisons entre ces sous-ensembles. Il met en évidence les structures de base que sont les associations de liaisons en parallèle et les associations de liaisons en série.</p> <p>Les compétences acquises doivent permettre :</p> <p>1) à partir d'un système mécanique réel, ou codifié sous forme de documents compréhensibles sans pré-requis, de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - préciser les champs de vitesse relatifs possibles entre les solides, c'est-à-dire proposer une modélisation des liaisons avec une définition précise de leurs caractéristiques géométriques ; - réaliser le graphe de structure ; - réaliser un schéma cinématique ; - lui associer le paramétrage retenu. <p>2) à partir d'un graphe de structure et d'un schéma cinématique fourni d'une partie opérative, d'écrire, dans le cas d'une chaîne simple fermée, la loi entrée sortie et les relations de fermeture de la chaîne cinématique.</p> <p>Les exercices d'application du cours, ainsi que les calculs simples sont conduits analytiquement. Les développements et les calculs plus complexes peuvent faire l'objet d'un traitement informatique. Les résultats sont alors analysés.</p> <p>La mobilité des chaînes complexes est étudiée en deuxième année. Une sensibilisation est faite en première année avec l'analyse des chaînes simples fermées pour permettre la compréhension des résultats calculatoires donnés par les logiciels de simulations mécaniques.</p>

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>B - Statique des solides</p> <p>1) Modélisation locale des actions mécaniques : actions à distance et de contact. Lois de Coulomb relatives au glissement, au roulement et au pivotement. Modélisation globale des actions mécaniques : torseur associé.</p> <p>2) Action mécanique transmissible par une liaison sans frottement. Cas des liaisons normalisées et de la modélisation plane.</p> <p>3) Principe fondamental de la statique. Théorèmes généraux. Équilibre d'un solide, d'un ensemble de solides. Théorème des actions réciproques.</p> <p>4) Applications : - Mécanismes parfaits. - Modèles avec frottement : arc-boutement.</p>	<p>Dans le cas des liaisons sans frottement, il est possible de mettre en évidence, au niveau global, les particularités sur les torseurs associés.</p> <p>L'écriture systématique des 6n équations d'un système composé de n solides est à proscrire.</p> <p>Les exercices d'application du cours, ainsi que les calculs simples sont conduits analytiquement. Les développements et les calculs plus complexes peuvent faire l'objet d'un traitement informatique. Les résultats sont alors analysés.</p> <p>Dans le cas d'une modélisation plane, et dans des situations simples (trois forces maximum), une méthode graphique peut être utilisée. L'étude générale des funiculaires n'est pas au programme.</p> <p>Les actions mécaniques extérieures sur tout ou partie d'un mécanisme et un schéma d'architecture étant fournis, les compétences acquises doivent permettre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - choisir la méthode et conduire le calcul jusqu'à la détermination complète des inconnues de liaison ; - choisir la méthode et conduire le calcul pour déterminer la valeur des paramètres conduisant à des positions d'équilibre (par exemple l'arc-boutement) ; - exploiter et interpréter les résultats d'un logiciel de calcul (analyse de la modélisation proposée et des résultats obtenus).
<p>II - Systèmes de commande logiques et temps réel</p>	
<p>A - Systèmes combinatoires</p>	
<p>Codage de l'information : binaire naturel, binaire réfléchi, code p parmi n. Algèbre de Boole. Théorème de De Morgan. Opérateurs logiques fondamentaux. Fonctions logiques de deux variables logiques. Spécification d'une fonction booléenne ; table de vérité, tableau de Karnaugh. Techniques de simplification élémentaires : méthode algébrique et méthode de Karnaugh. Logigrammes. Exemples de réalisations câblées : pneumatiques, hydrauliques, électroniques, électromécaniques.</p>	<p>On se limite à des fonctions d'au plus quatre variables.</p> <p>L'algèbre de Boole ne nécessite aucun pré-requis. Sa présentation se limite aux propriétés strictement nécessaires à ce cours.</p> <p>Les compétences acquises doivent permettre :</p> <p>1) à partir d'un système combinatoire dont le fonctionnement est observable, ou décrit par une représentation fonctionnelle, la liste des entrées-sorties étant définie :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'exprimer le fonctionnement par un ensemble d'équations logiques ; - d'optimiser la représentation logique en vue de sa réalisation par simplification (méthode de Karnaugh), par utilisation d'opérateurs (tels NON-ET, et OU exclusif, identité), par application des théorèmes de De Morgan. <p>2) à partir du cahier des charges d'une partie combinatoire d'un système, une technique (câblée) et une technologie (relais électrique, composants électroniques) de réalisation étant choisies :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'analyser et décrire le comportement attendu ; - d'exprimer ce comportement au moyen d'une représentation adaptée aux choix technique et technologique imposés (équations logiques, algorithme, schéma à contact, logigramme), en justifiant les adaptations éventuelles.

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>B - Systèmes Séquentiels</p> <p>Définition d'un système séquentiel. État interne. Définition de la fonction mémoire. Chronogrammes. GRAFCET : - éléments de base : étape, liaison, transition, - règles d'évolution ; - mode continu ; - structures de base : séquence unique, sélection de séquence, parallélisme structural ; - automate d'état fini correspondant ; - représentation des évènements d'entrée : fronts.</p>	<p>On montre qu'un chronogramme permet de déterminer la nature combinatoire ou séquentielle d'un système logique.</p> <p>On insiste particulièrement sur l'obtention d'un effet mémoire par auto-maintien.</p> <p>On insiste sur les hypothèses (événements d'entrée et événements internes) relatives au modèle GRAFCET.</p> <p>Le mode mémorisé est abordé en deuxième année.</p> <p>Les compétences acquises doivent permettre :</p> <p>1) à partir d'un besoin de mémorisation d'information, d'un outil de représentation et d'une technologie de réalisation (relais auto maintenu ou bi stable, mémoire électronique discrète...) imposés, de décrire le fonctionnement attendu.</p> <p>2) à partir d'un grafcet fourni selon un point de vue et de la définition des entrées-sorties correspondantes :</p> <p>- d'analyser et interpréter ce grafcet vis-à-vis du modèle GRAFCET (5 règles) ; - de représenter tout ou partie d'une évolution temporelle consécutive à un événement d'entrée.</p>

OPTION SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Ce programme complémentaire est centré sur des activités de travaux pratiques. Celles-ci permettent d'appréhender la complexité de la réalité industrielle et d'acquérir des compétences transversales qui s'appuient sur l'ensemble du programme. Elles sont organisées autour de produits industriels instrumentés ou de matériels didactisés constitués de composants industriels.

Les activités de travaux pratiques permettent :

- de valider des concepts de base abordés dans les cours magistraux, d'apporter des connaissances nouvelles et d'exploiter l'ensemble des connaissances scientifiques acquises par les étudiants ;
- d'acquérir la connaissance de solutions industrielles répondant à un besoin défini, de leur associer une modélisation ;
- de vérifier des performances et de les comparer aux résultats attendus ;
- de manipuler en effectuant des mesures en comportement réel et des réglages ;
- de formuler de nouvelles hypothèses pour affiner la modélisation et apprécier ses limites de validité ;
- de développer le sens de l'observation, le goût du concret, les prises d'initiative et de responsabilité ;
- de communiquer au moyen des langages spécifiques.

L'utilisation de l'outil informatique exploitant des logiciels de modélisation, de calcul ou de simulation :

- permet une étude plus précise du comportement des systèmes étudiés ;
- doit faciliter l'élaboration et la mise au point des programmes de commande, ainsi que la compréhension du comportement des parties commande des systèmes.

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>I - Étude des systèmes Les constituants des chaînes fonctionnelles</p> <p>1) La chaîne d'action :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les transmetteurs de puissance et les effecteurs : fonction, mobilité fonctionnelle d'une partie opérative ; - Les actionneurs et pré-actionneurs associés : fonction, typologie des énergies d'entrée et de sortie. 	<p>Cette partie du programme ne doit pas être abordée sous forme de cours magistral. Il s'agit d'apporter une culture des solutions mises en œuvre dans les différents domaines de compétence indiqués et de mesurer les performances de ces constituants lors des séances de travaux pratiques.</p> <p>La technologie interne de ces constituants n'est pas au programme. Les illustrations trouvent principalement leur source parmi les systèmes utilisés lors des travaux pratiques.</p> <p>L'étude mécanique globale des transmetteurs se limite en première année à la cinématique et aux actions mécaniques (effets statiques seulement).</p> <p>Les calculs de pré-dimensionnement des transmetteurs de puissance et des effecteurs ne sont pas au programme.</p> <p>Les constituants des chaînes cinématiques sont abordés sous l'aspect fonctionnel en liaison avec le cours de mécanique.</p> <p>Les transmetteurs sont limités aux réducteurs et multiplicateurs, au mécanisme vis-écrou et aux mécanismes plans à barres articulées.</p> <p>À partir :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'un système réel en état de fonctionnement, ou d'un système réel didactisé accompagné d'un dossier technique, - d'un dossier technique relatif à un système réel ; les compétences acquises doivent permettre : - d'identifier le ou les transmetteurs, - de définir les grandeurs d'entrée et de sortie. <p>Les calculs de pré-dimensionnement des actionneurs et pré-actionneurs ne sont pas au programme.</p> <p>Les actionneurs et pré-actionneurs sont abordés en travaux pratiques sous l'aspect fonctionnel en liaison avec le cours d'automatique, de mécanique et de physique.</p> <p>À partir :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'un système réel en état de fonctionnement, ou d'un système réel didactisé accompagné d'un dossier technique, - d'un dossier technique relatif à un système réel, les compétences acquises doivent permettre : - d'identifier le ou les actionneurs ainsi que les pré-actionneurs associés, - de définir la nature des énergies d'entrée et de sortie.

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>2) La chaîne d'information :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les capteurs : fonction ; typologie des informations d'entrée et de sortie ; - Les commandes programmables : fonction. 	<p>Les capteurs sont abordés en travaux pratiques sous l'aspect fonctionnel en liaison avec le cours d'automatique, de mécanique et de physique.</p> <p>À partir :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'un système réel en état de fonctionnement, ou d'un système réel didactisé accompagné d'un dossier technique, - d'un dossier technique relatif à un système réel, les compétences acquises doivent permettre : <ul style="list-style-type: none"> - d'identifier le ou les capteurs, - de définir la nature des informations d'entrée et de sortie. <p>Les commandes programmables sont abordées en travaux pratiques sous l'aspect fonctionnel en liaison avec le cours d'automatique, d'informatique et de physique.</p> <p>Elles sont limitées aux automates programmables industriels et aux micro-ordinateurs équipés de cartes entrées-sorties et aux systèmes microcontrôlés.</p> <p>Aucune exigence quant à l'utilisation de programmation n'est au programme (utilisation de progiciel en travaux pratiques d'automatique).</p> <p>À partir :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'un système réel en état de fonctionnement, ou d'un système réel didactisé accompagné d'un dossier technique, - d'un dossier technique relatif à un système réel, les compétences acquises doivent permettre d'identifier une commande programmable par le nombre et la nature de ses entrées et de ses sorties.
<p>3) La chaîne d'énergie :</p> <p>Les interfaces de commande et de puissance : fonction, typologie des énergies d'entrée et de sortie.</p>	<p>Les interfaces de commande et de puissance sont abordées en travaux pratiques sous l'aspect fonctionnel, en liaison avec le cours d'automatique et de physique.</p> <p>Elles sont limitées aux :</p> <ul style="list-style-type: none"> - cartes E/S industrielles (TOR et analogique), - contacteur et relais, - variateur électronique de vitesse, - distributeur pneumatique et hydraulique, - régulateur de débit et de pression. <p>À partir :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'un système réel en état de fonctionnement, ou d'un système réel didactisé accompagné d'un dossier technique, - d'un dossier technique relatif à un système réel, les compétences acquises doivent permettre d'identifier la ou les interfaces.

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>II - Communication technique</p> <p>1) Le dessin technique graphique et assisté par ordinateur.</p> <p>2) Les modèles de description fonctionnels et structurels.</p> <p>3) Représentation schématique de la structure des chaînes fonctionnelles (mécaniques, électriques, hydrauliques et pneumatiques) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - graphe de structure ; - schéma cinématique minimal, schéma d'architecture ; - schémas électriques, hydrauliques et pneumatiques. 	<p>Les langages géométriques sont étudiés à partir d'exemples en travaux pratiques. Ils sont développés en fonction des conventions et des normalisations en vigueur. Les activités sont conduites dans la mesure du possible à l'aide de l'outil informatique et dans le laboratoire de sciences de l'ingénieur.</p> <p>Les représentations demandées sont limitées à l'allure générale des volumes principaux de pièces simples.</p> <p>La lecture de plans sera limitée à des cas simples ne présentant pas de difficultés de décodage, elle sera toujours accompagnée de représentations volumiques pertinentes issues de modeleurs 3D. Les fonctionnalités de base des modeleurs 3D sont introduites lors d'activités de travaux pratiques. Il faut insister sur la stratégie de construction des assemblages.</p> <p>Les outils de représentation FAST et SADT restent des outils privilégiés de description fonctionnelle et structurelle. Les compétences acquises doivent permettre de compléter une description fonctionnelle ou structurelle limitée à deux niveaux consécutifs.</p> <p>Le schéma cinématique minimal est le schéma qui permet la description des liaisons entre les sous-ensembles cinématiquement équivalents.</p> <p>Un schéma d'architecture permet de calculer les actions mécaniques dans les liaisons élémentaires associées en série ou en parallèle.</p> <p>Les schématisations électriques, hydrauliques et pneumatiques ne doivent être abordées qu'au travers de l'étude de documents techniques et doivent se limiter au minimum indispensable à la conduite de l'étude proposée. La connaissance des symboles normalisés par les différentes normes ne peut être exigée. Les étudiants doivent disposer en permanence d'une documentation sur les normes.</p>

A

nnexe II

PROGRAMME DE SCIENCES INDUSTRIELLES POUR L'INGÉNIEUR DANS LA FILIÈRE PCSI

1 - OBJECTIFS DE FORMATION

1.1 Finalités

L'enseignement de sciences industrielles pour l'ingénieur permet d'aborder avec méthode et rigueur l'analyse de réalisations industrielles. Il renforce l'interdisciplinarité et développe des aptitudes à modéliser des systèmes manufacturés, à déterminer leurs grandeurs caractéristiques, à communiquer et à interpréter les résultats obtenus en vue de faire évoluer le système réel. Les systèmes choisis relèvent des grands secteurs technologiques : transport, production, bâtiment, santé, environnement... Les concepts et outils présentés sont transposables à l'ensemble des secteurs industriels.

L'approche système permet d'appréhender la complexité des situations industrielles. Les systèmes industriels sont le plus souvent constitués d'ensembles mécaniques dotés de comportements automatiques. C'est pourquoi l'enseignement des sciences de l'ingénieur s'appuie sur la mécanique et l'automatique.

Les finalités de cet enseignement sont de développer les capacités à mobiliser ces connaissances pour analyser des cas concrets, imaginer des solutions et communiquer des résultats en s'appuyant sur la maîtrise d'outils fondamentaux de la mécanique et de l'automatique, ainsi que sur les connaissances de base des technologies associées.

1.2 Objectifs généraux

L'enseignement et l'évaluation des connaissances en sciences de l'ingénieur reposent sur l'analyse et la critique des systèmes industriels existants. Celles-ci permettent, d'une part, d'analyser les besoins, l'architecture, l'évolution, la modélisation de l'existant et, d'autre part, de concevoir des architectures définies par un cahier des charges.

À partir de supports industriels placés dans leur environnement technico-économique, les étudiants devront être capables :

- d'analyser des réalisations industrielles en :
 - . conduisant l'analyse fonctionnelle (blocs fonctionnels) ;
 - . décrivant le fonctionnement avec les outils de la communication technique ;
 - . conduisant l'analyse structurelle des blocs fonctionnels principaux (architecture et composants) ;
- de vérifier les performances globales d'un système industriel et le comportement de certains constituants en proposant une modélisation adaptée et en formulant les hypothèses nécessaires ;
- d'imaginer des solutions par l'association de blocs fonctionnels répondant à un besoin exprimé.

La communication, les représentations et les simulations reposent sur l'utilisation des langages techniques et de l'outil informatique.

2 - PROGRAMME

2.1 Présentation

L'enseignement de sciences industrielles pour l'ingénieur est organisé autour de l'étude des systèmes industriels. Il est abordé dans ses dimensions cognitives, systémiques et méthodologiques.

Cette approche, fondée sur l'étude de solutions industrielles (abordées en travaux pratiques et en travaux dirigés), doit privilégier l'acquisition des connaissances de base présentées dans les différentes parties du programme. Ces connaissances sont dispensées et structurées non seulement pendant les cours théoriques mais également à travers des activités dirigées et expérimentales (en travaux dirigés et en travaux pratiques).

Pour assurer la cohérence du programme, la totalité de l'enseignement est assurée par un même professeur agrégé de mécanique ou de génie mécanique.

Les différentes parties du programme sont présentées en donnant pour chacune :

- les contenus accompagnés de commentaires ;
- les compétences attendues. Celles-ci doivent être acquises en respectant les échéances de fin de première période et de fin de première année.

Notamment, les compétences acquises à la fin de la première période de première année doivent permettre :

- de situer un système dans son domaine d'activité ;
- d'identifier les matières d'œuvres entrantes et sortantes ;
- de préciser les caractéristiques de la valeur ajoutée ;
- de caractériser la fonction globale du système ;
- d'identifier et de caractériser les éléments de structure (partie opérative et partie commande, sous-ensembles fonctionnels, chaînes fonctionnelles et axes) ;
- d'identifier certaines caractéristiques temporelles et fréquentielles d'un système : gain statique, constante de temps, coefficient d'amortissement, pulsation propre non amortie ;
- de caractériser le champ des vecteurs-vitesse et le champ des vecteurs-accelération des solides d'un mécanisme.

2.2 Lignes directrices du programme

2.2.1 Étude fonctionnelle et structurelle des systèmes

Cette étude permet d'analyser l'organisation fonctionnelle et structurelle de produits industriels conduisant à la compréhension de leur fonctionnement et à une justification de leur architecture.

Elle permet d'acquérir une culture des solutions industrielles qui facilite la compréhension et l'appropriation de tout système nouveau. Elle s'appuie sur des méthodes d'analyse et des outils reconnus et performants qui permettent d'associer respectivement des ensembles de constituants, ou des constituants uniques, aux fonctions principales et secondaires d'un système industriel.

La justification de l'évolution technologique est issue de la comparaison entre des systèmes répondant à un même besoin exprimé, produits par des constructeurs différents à une même date ou par une même société à des dates différentes. Elle permet l'initiation à la conception des systèmes.

Les activités de conception sont limitées à la définition et à la modification d'architectures générales par l'association de blocs fonctionnels. Elles permettent de fédérer les connaissances acquises dans l'ensemble des disciplines. Elles développent l'esprit d'initiative et la créativité des étudiants.

Les outils de la communication technique et de l'expression technologique dans leur diversité et leur complémentarité permettent de lire et de s'exprimer dans le domaine des sciences de l'ingénieur.

La communication technique est abordée sous le double aspect :

- de l'utilisation des langages spécifiques que sont le dessin technique graphique et assisté par ordinateur, les schémas, les graphes ;
- de la maîtrise du vocabulaire technique qui permet la description écrite et orale du fonctionnement ou du comportement des systèmes étudiés.

2.2.2 Étude des performances des systèmes

Cette étude permet de valider certains critères de performance industrielle dans l'environnement socio-économique, culturel et historique. Elle s'appuie sur la maîtrise d'outils fondamentaux de la mécanique et de l'automatique ainsi que sur les connaissances de base des technologies associées, et sur une démarche expérimentale d'observation et d'analyse des comportements du système.

Les connaissances acquises dans l'ensemble des disciplines sont utilisées en travaux dirigés, en travaux pratiques ou lors des travaux d'initiative personnelle encadrés pour analyser le fonctionnement et vérifier les performances des systèmes étudiés. Des conclusions argumentées doivent être tirées des résultats d'expérimentations ou

de calculs au regard des hypothèses formulées et des méthodes utilisées. Il est nécessaire d'insister sur les vertus et les limites de la modélisation utilisée dans la démarche.

L'enseignement de la mécanique conduit à appliquer les lois générales et les concepts à des objets ou des systèmes manufacturés. Ces lois et ces concepts sont étudiés ou mis en évidence lors des activités de travaux pratiques.

L'utilisation de l'outil informatique, en particulier pendant les activités de travaux pratiques, exploitant des logiciels de modélisation, de calcul ou de simulation, permet une étude plus approfondie du comportement des mécanismes et la résolution plus rapide des problèmes. L'automatique nécessite une analyse et une modélisation des systèmes pour isoler les fonctions de commande, en particulier le traitement de l'information. Ses domaines d'application sont aussi nombreux que variés.

L'enseignement se limite aux connaissances de base nécessaires pour l'étude des systèmes logiques et des systèmes linéaires continus. Une approche scientifique s'appuyant sur des exemples industriels, et l'importance donnée aux travaux dirigés et pratiques sont les garants de l'appartenance de l'automatique au domaine des sciences de l'ingénieur.

L'informatique en tant qu'outil de travail de l'automaticien doit faciliter l'élaboration et la mise au point des programmes de commande, ainsi que la compréhension du comportement des parties

commandes des systèmes. Des logiciels de programmation automatique, de simulation, de documentation technique sont utilisés en travaux pratiques.

Les activités de travaux pratiques sont au cœur de la formation car elles permettent d'appréhender la complexité de la réalité industrielle et d'acquérir des compétences transversales qui s'appuient sur chacun des trois enseignements (mécanique, automatique, étude des systèmes). Elles sont organisées autour de produits industriels instrumentés ou de matériels didactisés constitués de composants industriels.

Les activités de travaux pratiques permettent :

- de valider des concepts de base abordés dans les cours magistraux, d'apporter des connaissances nouvelles et d'exploiter l'ensemble des connaissances scientifiques enseignées dans les autres disciplines ;
- d'acquérir la connaissance de solutions industrielles répondant à un besoin défini, de leur associer une modélisation permettant l'utilisation de lois de la mécanique et de l'automatique ;
- de vérifier des performances ;
- de manipuler en effectuant des mesures en comportement réel et des réglages ;
- de formuler ou de reformuler des hypothèses pour modéliser le réel et d'apprécier leurs limites de validité ;
- de développer le sens de l'observation, le goût du concret, la prise d'initiative et de responsabilité.

PROGRAMME

Remarques préliminaires

Ce programme a été construit en prenant en compte la structure particulière de la filière PC SI (orientation en fin de première période) et les nouveaux programmes de mathématiques et de sciences physiques. Dans cet esprit, l'ordre du programme est imposé en première période. En deuxième période, la liberté pédagogique de chaque enseignant prévaut.

Les connaissances associées à l'étude fonctionnelle et structurelle et à l'étude des performances des systèmes sont précisées dans la colonne de gauche, les compétences attendues sont décrites avec les commentaires dans la colonne de droite.

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>Première période (tronc commun)</p> <p>I - Étude des systèmes</p> <p>1) Présentation générale des systèmes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - matière d'œuvre ; - valeur ajoutée ; - fonction ; - performance. <p>2) Classification selon :</p> <ul style="list-style-type: none"> - le domaine d'application ; - la nature de la matière d'œuvre ; - la nature des flux ; - les critères technico-économiques. <p>3) Chaînes fonctionnelles :</p> <ul style="list-style-type: none"> - partie commande, partie opérative ; - relations entre partie commande et partie opérative ; - relations entre partie commande et opérateur, - distinction des chaînes d'information et d'énergie ; - identification et description des constituants. 	<p>Les activités sont organisées à partir de systèmes réels appareillés ou didactisés du laboratoire de sciences de l'ingénieur et de dossiers techniques. Ainsi, elles peuvent être introduites par des activités de travaux pratiques organisées dès le début de l'année scolaire.</p> <p>Fondement des sciences de l'ingénieur, l'approche ainsi définie sera le fil conducteur de l'ensemble de l'enseignement dispensé tout au long des deux années de formation.</p> <p>L'étude des chaînes fonctionnelles comme sous-ensembles de systèmes permet de construire une base de données de solutions industrielles associées aux fonctions principales (transférer, réguler, positionner, maintenir, transformer,...).</p> <p>Les constituants des chaînes fonctionnelles (capteurs, préactionneurs, actionneurs, transmetteurs,...) sont décrits en vue de leur identification. À partir :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'un système réel en état de fonctionnement, - d'un système réel didactisé accompagné d'un dossier technique, - d'un dossier technique relatif à un système réel, les compétences acquises doivent permettre : - de situer le système industriel dans son domaine d'activité ; - d'identifier les matières d'œuvre entrantes et sortantes du système ; - de préciser les caractéristiques de la valeur ajoutée par le système ; - de relever les performances et les comparer aux caractéristiques du dossier technique ; - d'identifier et caractériser les éléments de structure (sous-ensembles fonctionnels, chaînes fonctionnelles, partie opérative et partie commande).

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>II - Communication technique</p> <p>1) Lecture de documents techniques.</p> <p>2) Les modèles de description fonctionnels et structurels ; cahier des Charges Fonctionnel.</p>	<p>Les documents techniques proposés (perspectives, vues éclatées, photos, documents multimédia ...) sont directement interprétables par un bachelier scientifique.</p> <p>Afin de faciliter la maîtrise progressive des outils de communication technique, il est conseillé, lors de cette première période, d'utiliser des dossiers techniques relatifs aux supports présents dans le laboratoire de sciences de l'ingénieur.</p> <p>Le Cahier des Charges Fonctionnel est l'outil privilégié pour associer les performances attendues aux fonctions à satisfaire par un système. L'outil de représentation FAST est privilégié pour l'analyse fonctionnelle et structurelle des systèmes. L'outil de représentation SADT est privilégié pour la décomposition structurelle en sous-ensembles fonctionnels. Tout autre outil de description est hors programme. En première période, ces outils ne sont proposés qu'à la lecture. Les compétences acquises doivent permettre d'analyser tout ou partie d'un système par un modèle de description adapté au point de vue préalablement spécifié.</p>
<p>III - Automatique</p> <p>A - Présentation</p> <p>Buts et motivations. Bref historique. Exemples. Définition et structure d'un système asservi : chaîne directe, chaîne de retour, comparateur, écart. Consigne. Perturbation. Régulation. Poursuite. Définition des performances : rapidité, précision, stabilité.</p> <p>B - Modélisation et comportement des systèmes linéaires continus et invariants</p> <p>1) Systèmes linéaires, continus et invariants : - modélisation par équation différentielle ; - calcul symbolique ; - représentation par fonction de transfert, forme canonique, gain, ordre et classe, pôles et zéros ; - cas des systèmes du premier et du deuxième ordre, de l'intégrateur et du dérivateur.</p> <p>2) Représentation par schémas-blocs : - transformation et réduction de schémas-blocs ; - fonction de transfert en boucle ouverte et fonction de transfert en boucle fermée.</p> <p>3) Signaux canoniques d'entrée : - réponse temporelle, rapidité. - réponse fréquentielle, diagrammes de Bode.</p>	<p>Cette partie doit permettre la présentation de la discipline, de ses domaines d'application, de son but, de son évolution.</p> <p>La diversité des systèmes automatiques rencontrés en travaux pratiques permet d'illustrer efficacement cette présentation, en particulier en introduisant une classification de la nature des informations traitées.</p> <p>Tous les systèmes abordés en première année sont stables.</p> <p>Les travaux pratiques permettent d'appréhender les incompatibilités entre les exigences de performances. Il en résulte une nécessité de compromis.</p> <p>L'utilisation de la transformée de Laplace ne nécessite aucun pré-requis. Sa présentation se limite à son énoncé et aux propriétés du calcul symbolique strictement nécessaires à ce cours. Les théorèmes de la valeur finale et de la valeur initiale sont donnés sans démonstration. Une attention particulière sera apportée à la notion de modélisation linéaire autour d'un point de fonctionnement.</p> <p>Le caractère physique et ou informationnel des grandeurs définissant les liens entre blocs doit toujours être précisé avec soin. Concernant les transformations et réductions de schémas-blocs, on insistera sur le fait qu'elles éloignent le modèle de la réalité physique du système.</p> <p>Les signaux canoniques d'entrée se limitent à l'impulsion, l'échelon, la rampe et le signal sinusoïdal. Du point de vue de la représentation du comportement fréquentiel, seul le diagramme de Bode est développé. Les diagrammes de Black et de Nyquist ne sont donnés qu'à titre indicatif.</p> <p>Les compétences acquises doivent permettre, à partir d'un système modélisé comme un premier ou un second ordre, de prévoir les réponses temporelles et fréquentielles.</p>

PROGRAMME	COMMENTAIRES
	<p>À partir d'un système asservi modélisé comme linéaire, continu et invariant ou matérialisé par une réalisation industrielle, les compétences acquises doivent permettre :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'analyser ou établir le schéma fonctionnel du système, - d'analyser ou établir le schéma-bloc du système, - de déterminer la fonction de transfert globale du système, - de prévoir ses performances en rapidité. <p>Les exercices d'application du cours, ainsi que les calculs simples sont conduits analytiquement. Les développements et les calculs plus complexes peuvent faire l'objet d'un traitement informatique. Les résultats sont alors analysés.</p> <p>La stabilité et la précision des systèmes asservis sont du programme de deuxième année.</p>
<p>C - Identification à un modèle</p> <p>Généralités : modèles de connaissances et modèles de représentations. Modélisation et identification.</p>	<p>Ce chapitre ne nécessite pas de cours magistral mais des activités de travaux pratiques menées en liaison avec la partie B.</p> <p>On insiste particulièrement sur les notions de système et de modèle, sur la réalité et la représentation mathématique qui en est faite.</p>
<p>IV - Mécanique</p> <p>Cinématique du solide indéformable</p> <p>1) Définition d'un solide indéformable. Référentiel : espace, temps. Repère attaché à un référentiel. Équivalence entre référentiel et solide indéformable.</p> <p>2) Mouvement relatif de deux solides. Paramétrage. Position d'un référentiel par rapport à un autre ; angles d'Euler. Dérivée temporelle d'un vecteur par rapport à un référentiel. Trajectoire, vitesse et accélération d'un point par rapport à un référentiel. Relation entre les dérivées temporelles d'un vecteur par rapport à deux référentiels distincts. Vecteur-vitesse de rotation de deux référentiels en mouvement l'un par rapport à l'autre : - ayant une direction commune ; - dans le cas général. Composition des vecteurs-vitesse de rotation. Composition des vecteurs-vitesse. Torseur distributeur des vitesses, équiprojectivité, axe instantané de viration. Mouvements particuliers : translation et rotation.</p>	<p>Dans tout ce chapitre, toutes les notions développées en physique lors du cours de cinématique non relativiste du point ne sont que rappelées pour être immédiatement placées dans le contexte de la cinématique du solide indéformable.</p> <p>Cette partie du programme s'appuie également sur les acquis de géométrie vectorielle dans \mathbb{R}^3 traité en mathématiques.</p> <p>On accepte dans ce cours le terme de solide pour solide indéformable.</p> <p>Pour la dérivée d'un vecteur, on insiste sur la différence entre référentiel d'observation et éventuelle base d'expression du résultat.</p> <p>À cette occasion, on introduit la théorie des torseurs. On n'en donne que les éléments essentiels : opérations, invariants, axe central, torseur couple et glisseur.</p>
<p>3) Applications au mouvement plan sur plan : centre instantané de rotation, théorème des trois plans glissants.</p>	<p>À partir d'un système mécanique pour lequel un paramétrage est donné, les compétences acquises doivent permettre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - déterminer le torseur cinématique d'un solide par rapport à un autre solide ; - déterminer la trajectoire d'un point d'un solide par rapport à un autre solide ; - déterminer le vecteur accélération d'un point d'un solide par rapport à un autre solide. <p>Les exercices d'application du cours, ainsi que les calculs simples sont conduits analytiquement, ou graphiquement (dans le cas d'un problème plan). Les développements et les calculs plus complexes peuvent faire l'objet d'un traitement informatique. Les résultats sont alors analysés.</p> <p>Lors des travaux dirigés ou des travaux pratiques, une introduction aux liaisons entre solides (programme de seconde période) peut être envisagée sur des exemples simples.</p>

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>Deuxième période (option PSI)</p> <p>I - Mécanique</p> <p>A - Modélisation cinématique des liaisons</p> <p>1) Contact entre solides : - Géométrie générale des contacts entre deux solides. - Degrés de mobilité. Cinématique du contact ponctuel entre deux solides : - roulement, pivotement, glissement ; - condition cinématique de maintien du contact.</p> <p>2) Liaisons entre solides : définition. Liaisons normalisées entre solides : caractéristiques géométriques et repères d'expression privilégiés.</p> <p>3) Mécanismes. Structure d'une chaîne de solides : graphe des liaisons. Associations de liaisons en série et en parallèle ; liaisons cinématiquement équivalentes. Analyse cinématique : relations entre les vitesses issues de la fermeture de la chaîne cinématique.</p> <p>4) Cas particulier de la modélisation plane.</p> <p>B-Statique des solides</p> <p>1) Modélisation des actions mécaniques. Modélisation locale : actions à distance et de contact. Lois de Coulomb. Résistance au roulement et au pivotement. Modélisation globale, torseur associé.</p> <p>2) Action mécanique transmissible par une liaison sans frottement. Cas des liaisons normalisées. Cas de la modélisation plane.</p> <p>3) Principe fondamental de la statique. Théorèmes généraux. Équilibre d'un solide, d'un ensemble de solides. Théorème des actions réciproques.</p>	<p>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.</p> <p>Les formes particulières que peut prendre le torseur distributeur des vitesses permettent d'en faire une classification. On en dégage une sous- classe de torseurs particuliers, permettant de définir des liaisons normalisées.</p> <p>Le graphe des liaisons a pour fonction de répertorier les sous-ensembles cinématiques d'une chaîne de solides et les liaisons entre ces sous-ensembles. Il met en évidence les structures de base que sont les associations de liaisons en parallèle et les associations de liaisons en série.</p> <p>Les compétences acquises doivent permettre :</p> <p>1) à partir d'un système mécanique réel, ou codifié sous forme de documents compréhensibles sans pré-requis, de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - préciser les champs de vitesse relatifs possibles entre les solides, c'est-à-dire proposer une modélisation des liaisons avec une définition précise de leurs caractéristiques géométriques ; - réaliser le graphe de structure ; - réaliser un schéma cinématique ; - lui associer le paramétrage retenu. <p>2) à partir d'un graphe de structure et d'un schéma cinématique fourni d'une partie opérative, d'écrire, dans le cas d'une chaîne simple fermée, la loi entrée sortie et les relations de fermeture de la chaîne cinématique.</p> <p>Les exercices d'application du cours, ainsi que les calculs simples sont conduits analytiquement. Les développements et les calculs plus complexes peuvent faire l'objet d'un traitement informatique. Les résultats sont alors analysés.</p> <p>La mobilité des chaînes complexes est étudiée en deuxième année. Une sensibilisation est faite en première année avec l'analyse des chaînes simples fermées pour permettre la compréhension des résultats calculatoires donnés par les logiciels de simulations mécaniques.</p> <p>Dans le cas des liaisons sans frottement, il est possible de mettre en évidence, au niveau global, les particularités sur les torseurs associés.</p> <p>L'écriture systématique des $6n$ équations d'un système composé de n solides est à proscrire.</p>

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>4) Applications :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mécanismes parfaits. - Conditions d'équilibre pour les mécanismes qui présentent au moins une mobilité. - Modèles avec frottement : arc-boutement. <p>II - Automatique</p> <p>A - Systèmes combinatoires</p> <p>Codage de l'information : binaire naturel, binaire réfléchi, code p parmi n. Algèbre de Boole. Théorème de De Morgan. Opérateurs logiques fondamentaux. Fonctions logiques de deux variables logiques. Spécification d'une fonction booléenne ; table de vérité, tableau de Karnaugh. Techniques de simplification élémentaires : méthode algébrique et méthode de Karnaugh. Logigrammes. Exemples de réalisations câblées : pneumatiques, hydrauliques, électroniques, électro-mécaniques.</p>	<p>Les exercices d'application du cours, ainsi que les calculs simples sont conduits analytiquement. Les développements et les calculs plus complexes peuvent faire l'objet d'un traitement informatique. Les résultats sont alors analysés.</p> <p>Dans le cas d'une modélisation plane, et dans des situations simples (trois forces maximum), une méthode graphique peut être utilisée. L'étude générale des funiculaires n'est pas au programme.</p> <p>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. Dans le même esprit, les situations que l'on ne peut résoudre analytiquement permettent d'introduire la notion d'hyperstatisme.</p> <p>Les actions mécaniques extérieures sur tout ou partie d'un mécanisme et un schéma d'architecture étant fournis, les compétences acquises doivent permettre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - choisir la méthode et conduire le calcul jusqu'à la détermination complète des inconnues de liaison, - choisir la méthode et conduire le calcul pour déterminer la valeur des paramètres conduisant à des positions d'équilibre (par exemple l'arc-boutement), - exploiter et interpréter les résultats d'un logiciel de calcul (analyse de la modélisation proposée et des résultats obtenus). <p>On se limite à des fonctions d'au plus quatre variables.</p> <p>L'algèbre de Boole ne nécessite aucun pré-requis. Sa présentation se limite aux propriétés strictement nécessaires à ce cours.</p> <p>Les compétences acquises doivent permettre :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) à partir d'un système combinatoire dont le fonctionnement est observable, ou décrit par une représentation fonctionnelle, la liste des entrées-sorties étant définie : <ul style="list-style-type: none"> - d'exprimer le fonctionnement par un ensemble d'équations logiques ; - d'optimiser la représentation logique en vue de sa réalisation par simplification (méthode de Karnaugh), par utilisation d'opérateurs (tels NON-ET, et OU exclusif, identité), par application des théorèmes de De Morgan. 2) à partir du cahier des charges d'une partie combinatoire d'un système, une technique (câblée) et une technologie (relais électrique, composants électroniques) de réalisation étant choisies : <ul style="list-style-type: none"> - d'analyser et décrire le comportement attendu ; - d'exprimer ce comportement au moyen d'une représentation adaptée aux choix technique et technologique imposés (équations logiques, algorithme, schéma à contact, logigramme), en justifiant les adaptations éventuelles ; - de réaliser les fonctions logiques (à partir de relais composants pneumatiques ou électroniques) ; - de tester la réalisation ; - de valider le fonctionnement, en conformité avec le cahier des charges.

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>B - Systèmes Séquentiels et modèle GRAFCET</p> <p>Définition d'un système séquentiel. Définition de la fonction mémoire. Chronogrammes. GRAFCET : - éléments de base : étape, liaison, transition ; - règles d'évolution ; - mode continu ; - structures de base : séquence unique, sélection de séquence, parallélisme structural ; - représentation des évènements d'entrée : fronts.</p>	<p>On montre qu'un chronogramme permet de déterminer la nature combinatoire ou séquentielle d'un système logique.</p> <p>On insiste particulièrement sur l'obtention d'un effet mémoire par auto-maintien.</p> <p>On insiste sur les hypothèses (événements d'entrée et événements internes) relatives au modèle GRAFCET.</p> <p>Le mode mémorisé est abordé en deuxième année.</p> <p>Les compétences acquises doivent permettre :</p> <p>1) à partir d'un besoin de mémorisation d'information, d'un outil de représentation et d'une technologie de réalisation (relais auto maintenu ou bi stable, mémoire électronique discrète...) imposés, de décrire le fonctionnement attendu.</p> <p>2) à partir d'un grafcet fourni selon un point de vue et de la définition des entrées-sorties correspondantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'analyser et interpréter ce grafcet vis-à-vis du modèle GRAFCET (5 règles) ; - de représenter tout ou partie d'une évolution temporelle consécutive à un événement d'entrée.
<p>III - Étude des systèmes Les constituants des chaînes fonctionnelles</p> <p>1) La chaîne d'action : - Les transmetteurs de puissance et les effecteurs : fonction, mobilité fonctionnelle d'une partie opérative ; - Les actionneurs et pré-actionneurs associés : fonction, typologie des énergies d'entrée et de sortie.</p>	<p>Cette partie du programme ne doit pas être abordée sous forme de cours magistral. Il s'agit d'apporter une culture des solutions mises en oeuvre dans les différents domaines de compétence indiqués et de mesurer les performances de ces constituants lors des séances de travaux pratiques.</p> <p>La technologie interne de ces constituants n'est pas au programme.</p> <p>Les illustrations trouvent principalement leur source parmi les systèmes utilisés lors des travaux pratiques.</p> <p>L'étude mécanique globale des transmetteurs se limite en première année à la cinématique et aux actions mécaniques (effets statiques seulement).</p> <p>Les calculs de pré-dimensionnement des transmetteurs de puissance et des effecteurs ne sont pas au programme.</p> <p>Les constituants des chaînes cinématiques sont abordés sous l'aspect fonctionnel en liaison avec le cours de mécanique.</p> <p>Les transmetteurs sont limités aux réducteurs et multiplicateurs, au mécanisme vis-écrou et aux mécanismes plans à barres articulées.</p> <p>À partir :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'un système réel en état de fonctionnement, - d'un système réel didactisé accompagné d'un dossier technique, - d'un dossier technique relatif à un système réel, les compétences acquises doivent permettre : - d'identifier le ou les transmetteurs ; - de définir les grandeurs d'entrée et de sortie. <p>Les calculs de pré dimensionnement des actionneurs et pré-actionneurs ne sont pas au programme.</p> <p>Les actionneurs et pré-actionneurs sont abordés en travaux pratiques sous l'aspect fonctionnel en liaison avec le cours d'automatique, de mécanique et de physique.</p> <p>À partir :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'un système réel en état de fonctionnement, - d'un système réel didactisé accompagné d'un dossier technique, - d'un dossier technique relatif à un système réel, les compétences acquises doivent permettre : - d'identifier le ou les actionneurs ainsi que les pré-actionneurs associés ; - de définir la nature des énergies d'entrée et de sortie.

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>2) La chaîne d'information :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les capteurs : fonction ; typologie des informations d'entrée et de sortie ; - Les commandes programmables : fonction. 	<p>Les capteurs sont abordés en travaux pratiques sous l'aspect fonctionnel en liaison avec le cours d'automatique, de mécanique et de physique.</p> <p>À partir :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'un système réel en état de fonctionnement, - d'un système réel didactisé accompagné d'un dossier technique, - d'un dossier technique relatif à un système réel, les compétences acquises doivent permettre : - d'identifier le ou les capteurs ; - de définir la nature des informations d'entrée et de sortie. <p>Les commandes programmables sont abordées en travaux pratiques sous l'aspect fonctionnel en liaison avec le cours d'automatique, d'informatique et de physique.</p> <p>Elles sont limitées aux automates programmables industriels et aux micro-ordinateurs équipés de cartes entrées-sorties et aux systèmes microcontrôlés.</p> <p>Aucune exigence quant à l'utilisation de programmation n'est au programme (utilisation de progiciel en travaux pratiques d'automatique).</p> <p>À partir :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'un système réel en état de fonctionnement, - d'un système réel didactisé accompagné d'un dossier technique, - d'un dossier technique relatif à un système réel, les compétences acquises doivent permettre d'identifier une commande programmable par le nombre et la nature de ses entrées et de ses sorties.
<p>3) La chaîne d'énergie :</p> <p>Les interfaces de commande et de puissance : fonction, typologie des énergies d'entrée et de sortie.</p>	<p>Les interfaces de commande et de puissance sont abordées en travaux pratiques sous l'aspect fonctionnel, en liaison avec le cours d'automatique et de physique.</p> <p>Elles sont limitées aux :</p> <ul style="list-style-type: none"> - cartes E/S industrielles (TOR et analogique) ; - contacteur et relais ; - variateur électronique de vitesse ; - distributeur pneumatique et hydraulique ; - régulateur de débit et de pression. <p>À partir :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'un système réel en état de fonctionnement, - d'un système réel didactisé accompagné d'un dossier technique, - d'un dossier technique relatif à un système réel, les compétences acquises doivent permettre d'identifier la ou les interfaces.
<p>IV - Communication technique</p>	
<p>1) Représentation géométrique.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le dessin technique graphique et assisté par ordinateur. - Représentation en projections cylindriques orthogonales. 	<p>L'étude géométrique des projections cylindriques met en évidence :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la correspondance entre les projections 2D et la représentation 3D ; - le paramétrage angulaire lié aux angles d'Euler. <p>Les langages géométriques sont étudiés à partir d'exemples en travaux pratiques. Ils sont développés en fonction de conventions et de normalisation en vigueur. Les activités sont conduites dans la mesure du possible à l'aide de l'outil informatique et dans le laboratoire de sciences de l'ingénieur.</p> <p>Les représentations demandées sont limitées à l'allure générale des volumes principaux de pièces simples.</p> <p>La lecture de plans sera limitée à des cas simples ne présentant pas de difficultés de décodage, elle sera toujours accompagnée de représentations volumiques pertinentes issues de modeleurs 3D.</p> <p>Les fonctionnalités de base des modeleurs 3D sont introduites lors d'activités de travaux pratiques.</p>

PROGRAMME	COMMENTAIRES
2) Les modèles de description fonctionnels et structurels.	<p>Les outils de représentation FAST et SADT restent des outils privilégiés de description fonctionnelle et structurelle.</p> <p>Les compétences acquises doivent permettre de compléter une description fonctionnelle ou structurelle limitée à deux niveaux consécutifs.</p>
3) Représentation schématique de la structure des chaînes fonctionnelles (mécaniques, électriques, hydrauliques et pneumatiques) : - graphe de structure ; - schéma cinématique minimal, schéma d'architecture ; - schémas électriques, hydrauliques et pneumatiques.	<p>Le schéma cinématique minimal est le schéma qui permet la description des liaisons entre les sous-ensembles cinématiquement équivalents.</p> <p>Un schéma d'architecture permet de calculer les actions mécaniques dans les liaisons élémentaires associées en série ou en parallèle.</p> <p>Les schématisations électrique, hydraulique et pneumatique ne doivent être abordées qu'au travers de l'étude de documents techniques et doivent se limiter au minimum indispensable à la conduite de l'étude proposée.</p> <p>La connaissance des symboles normalisés prescrits par les différentes normes ne peut être exigée. Les étudiants doivent disposer en permanence d'une documentation sur les normes.</p>

A **nnexe III**

PROGRAMME DE SCIENCES INDUSTRIELLES POUR L'INGÉNIEUR DANS LA FILIÈRE PTSI

1 - OBJECTIFS DE FORMATION

1.1 Finalités

L'enseignement des sciences industrielles pour l'ingénieur apporte les connaissances fondamentales et les cadres conceptuels structurant la relation réel-modèle, propres à l'analyse, à la conception et à la réalisation de solutions techniques.

Cet enseignement, s'articulant avec les enseignements des sciences physiques et des mathématiques, propose l'analyse, la conception et la mise en œuvre de systèmes pluritechniques répondant à un besoin exprimé par un cahier des charges.

Il s'appuie sur deux éléments fondamentaux, la mécanique des solides et l'automatique, en les intégrant au contexte technologique.

Il prépare l'étudiant aux méthodes de conception des produits :

- en apportant les connaissances de base de la culture technologique,
- en élaborant les modèles permettant le dimensionnement et la simulation du fonctionnement,

- en prenant en compte les contraintes liées aux procédés de fabrication et à leur utilisation,

- en validant les modèles par expérimentations,

- en utilisant les bases de données techniques ou industrielles.

Il permet de développer les capacités de créativité des étudiants.

La démarche de conception s'applique à la chaîne d'énergie qui intègre les parties opératives relatives aux systèmes pluritechniques.

Elle prend également en compte l'incidence des choix effectués pour la chaîne d'information.

Les activités d'analyse concernent ces deux chaînes.

1.2 Objectifs généraux

L'enseignement des sciences industrielles pour l'ingénieur repose, d'une part sur l'analyse critique de solutions existantes, d'autre part sur l'élaboration et la justification de solutions nouvelles.

Au terme de leur formation, les étudiants doivent être capables :

- d'analyser une solution technique proposée pour tout ou partie d'une partie opérative ou d'une partie commande en vue d'en décrire le fonctionnement, d'en justifier le choix des composants, d'en vérifier les performances ;

- de concevoir tout ou partie de la partie opérative d'un système technique à partir du cahier des charges. Pour cela, ils doivent :

- rechercher et justifier une solution avec une approche multicritères,

- choisir les matériaux et les procédés d'élaboration les plus adaptés à la réalisation d'une pièce mise en situation dans son contexte d'utilisation,

- exploiter les outils informatiques existants pour analyser, concevoir, calculer, simuler des comportements, fabriquer des produits et les contrôler.

L'emploi de l'outil informatique est aujourd'hui incontournable. Il constitue un support de l'acquisition des savoirs et des méthodes (création et intégration de composants, représentation, paramétrage, archivage, étude de comportements, fabrication, ...).

L'utilisation des logiciels de CAO, de modélisation, de calcul ou de simulation permet une étude plus approfondie du comportement des produits industriels et la résolution plus rapide des problèmes. Elle apporte une aide à la validation des modèles et développe l'approche méthodologique du paramétrage. En automatique, il facilite l'édition et la modification des modèles de commande, la simulation des comportements, la vérification de performances, la génération automatique de code à partir des spécifications comportementales. Les objectifs de cette formation, analytique, synthétique et concrète, prédisposent tout naturellement l'étudiant à approfondir ces connaissances fondamentales au sein des Grandes Écoles. Ces dernières, intégrant fortement les sciences de l'ingénieur dans leur formation

pourront naturellement s'appuyer sur les acquis de sciences industrielles enseignés dans cette filière.

Pour assurer la cohérence de la formation, la totalité de l'enseignement est réalisée par un même professeur agrégé de mécanique ou de génie mécanique.

2 - STRATÉGIE DE FORMATION

2.1 Organisation pédagogique

L'enseignement fondé sur l'étude de solutions industrielles abordées en cours, travaux pratiques et travaux dirigés, doit privilégier l'acquisition de solides connaissances de base présentées dans les différentes parties du programme. Ces connaissances sont acquises et structurées non seulement pendant les cours théoriques mais également au travers des activités de travaux dirigés et de travaux pratiques.

2.2 Objectifs des travaux pratiques

Les travaux pratiques se réfèrent aux différentes parties du programme. Ils permettent d'apporter des connaissances nouvelles, de découvrir la réalité de solutions techniques, de vérifier des performances, de valider des concepts de base abordés dans les cours magistraux, et d'analyser des solutions ou des procédés.

Ils permettent l'analyse des solutions techniques relatives au choix, au montage et au comportement des composants des parties opératives.

Ils sont organisés autour de produits industriels instrumentés ou non, ou de matériels didactisés intégrant des composants industriels.

Les manipulations sur machines-outils illustrent les problèmes de base liés aux procédés d'obtention des pièces usinées.

Ils contribuent à associer aux solutions techniques une modélisation permettant l'utilisation de lois de la mécanique et de l'automatique et une exploitation de l'ensemble des connaissances scientifiques identifiées dans les différentes parties du programme. Ils permettent de formuler des hypothèses pour l'étude du réel et d'apprécier leurs limites de validité.

Ils permettent d'acquérir la connaissance de solutions industrielles répondant à un besoin défini. Ils développent le sens de l'observation, le goût du concret et la prise d'initiatives.

2.3 Enseignement de soutien

Pour les étudiants qui n'ont pas suivi un enseignement de sciences de l'ingénieur au cours du cycle terminal conduisant au baccalauréat scientifique, un enseignement de soutien est prévu. Celui-ci doit être organisé dans le cadre de travaux pratiques adaptés.

3 - PROGRAMME

3.1 Présentation

Les différentes parties du programme sont présentées en précisant pour chacune :

- d'une part, les contenus organisés en chapitres et sous chapitres,

- d'autre part, les commentaires qui précisent les limites d'approfondissement et les compétences attendues qui définissent le contrat d'évaluation. Cette liste de compétences ne préjuge en rien, ni de l'ordre d'acquisition, ni de la progressivité et la redondance éventuelle dans l'acquisition, ni des démarches pédagogiques à mettre en œuvre. Le professeur conserve toute liberté pédagogique pour aborder et traiter le programme selon l'ordre souhaité. Des parties ou paragraphes peuvent être traités parallèlement en cours, TD ou TP.

La répartition des contenus et des compétences, entre première et deuxième année, doit être respectée pour permettre les réorientations éventuelles d'étudiants en fin de première année.

3.2 Lignes directrices du programme

Étude des systèmes

La pédagogie développée au cours de la formation s'appuie sur l'étude des systèmes pluritechniques. Par leur nombre et la variété des domaines d'activité dont ils sont extraits, ces systèmes :

- il lustrent les méthodes et démarches d'analyse et de synthèse enseignées au cours des deux années, conduisant à une maîtrise progressive de la complexité,
- familiarisent les étudiants à la confrontation réel-modèle à travers les thèmes traités en travaux dirigés et travaux pratiques,
- contribuent à l'acquisition de la culture des solutions constructives, indispensable pour aborder la phase de conception.

Les connaissances acquises dans l'ensemble des disciplines sont utilisées en travaux dirigés, en travaux pratiques ou lors des "travaux d'initiative personnelle encadrés" pour analyser le fonctionnement et vérifier les performances des systèmes étudiés. Il est nécessaire d'insister sur les vertus et les limites de la modélisation utilisée dans la démarche. Des conclusions argumentées doivent être tirées des résultats d'expérimentations ou de calculs au regard des hypothèses formulées et des méthodes utilisées.

La prise en compte de l'évolution technologique est issue de la comparaison entre des systèmes répondant à un même besoin exprimé, produits par des constructeurs différents à une même date ou par une même société à des dates différentes. Elle contribue à la formation à la conception raisonnée des systèmes.

Conception et réalisation des ensembles mécaniques

L'enseignement de la conception des ensembles mécaniques doit dégager les connaissances et les démarches nécessaires à l'étude du comportement des mécanismes et à la construction d'ensembles mécaniques dont la structure est donnée.

La construction de mécanismes passe nécessairement par l'acquisition d'une culture technologique. La formation comporte donc des cours de technologie de construction mécanique, des démonstrations, des analyses de plans industriels, des expérimentations à partir d'éléments de machines et des travaux dirigés. Elle doit permettre l'assimilation pratique des concepts de base en construction mécanique, en s'appuyant sur une démarche logique de l'étude des fonctions techniques.

L'enseignement de la construction mécanique accorde ainsi une place particulière à la lecture et à l'analyse de plans industriels. Cette activité conduit à exposer les hypothèses et les choix retenus en liaison avec les données du cahier des charges, à appréhender progressivement les différentes fonctions qui constituent le système avant de leur associer une solution technique.

Du point de vue des activités de construction, il importe de mettre en évidence l'influence prépondérante d'un certain nombre de paramètres sur le choix des solutions.

Les travaux dirigés sont essentiellement destinés à :

- l'analyse de solutions industrielles,
 - l'étude de nouvelles solutions et à l'exécution de dessins d'ensembles à partir d'éléments fournis pour partie,
 - la réalisation de dessins de définition de pièces moulées et usinées.
- Ces activités s'appuient sur l'utilisation d'outils informatiques de définition des systèmes mécaniques.

La maîtrise de l'utilisation des codes et langages de la communication technique doit permettre à l'étudiant de dessiner sur plusieurs vues, d'effectuer à main levée un croquis ou une perspective, de schématiser des mécanismes.

Les travaux pratiques permettent de confronter l'étudiant aux solutions industrielles.

Ils permettent d'appréhender les comportements spécifiques de mécanismes.

Concernant l'étude des matériaux, l'accent est mis sur la connaissance des ordres de grandeur des caractéristiques physiques et mécaniques des principales familles de matériaux couramment utilisés. Cette partie du programme doit permettre aux étudiants de justifier le choix d'un matériau en relation avec le procédé et de commenter les nomenclatures.

Le chapitre sur les procédés ne retient que l'étude détaillée de deux procédés : obtention des pièces moulées et des pièces usinées. Il ne s'agit pas de conduire une étude exhaustive de ces procédés mais de dégager leurs influences sur la conception des pièces. Une place privilégiée est accordée à l'obtention des pièces usinées dans la perspective d'une approche "pièce-matériau-procédé" transposable aux autres procédés. L'étude expérimentale de ce procédé et sa mise en œuvre en travaux pratiques mettent en évidence les difficultés d'obtention d'une spécification.

Mécanique

La mécanique constitue la science de base pour l'étude et la conception des mécanismes.

Son enseignement doit mettre en place des outils performants et des concepts essentiels à l'étude des ensembles mécaniques.

L'étudiant est confronté à la résolution de problèmes réels nécessitant le passage à une modélisation qui n'est pas toujours unique. Une analyse critique argumentée, des résultats d'expérimentations ou de calculs, doit être conduite compte tenu des hypothèses formulées et des méthodes utilisées. Il est nécessaire d'insister sur les limites du domaine de validité des lois retenues.

L'enseignement est conçu comme une série de cours présentant les connaissances structurées du programme, de travaux dirigés partant du réel et non d'un schéma et de travaux pratiques.

Les activités de travaux pratiques d'atelier donnent lieu à des expérimentations et des mises en œuvre de matériels et d'équipements actuels. Ils mettent en évidence les phénomènes fondamentaux étudiés en cours.

Automatique

L'automatique a pour but d'analyser, de modéliser la commande des systèmes pluritechniques. Intégrée au sein de ces systèmes, la chaîne d'information, distribuée ou répartie permet : l'acquisition, le traitement et la communication de l'information.

Composante incontournable des systèmes pluritechniques, son étude est donc indispensable dans les formations d'ingénieurs.

Compte tenu du volume horaire et de l'ampleur du domaine, l'enseignement se limite à la transmission des connaissances de base, indispensables à l'étude des systèmes logiques d'une part et des systèmes linéaires continus d'autre part.

Après un travail préalable d'analyse et de modélisation, les étudiants sont essentiellement confrontés pour les systèmes logiques (combinatoires et séquentiels) et pour les systèmes linéaires continus :

- à modifier et élaborer de manière structurée des modèles de commande,
- à vérifier sur ces modèles le respect de diverses contraintes exprimées dans un cahier des charges (formellement, par simulation),
- à valider tout ou partie d'un comportement d'un système pluritechnique.

Le programme permet la maîtrise de concepts fondamentaux et leur application à des cas concrets.

Une approche rigoureuse fondée sur des exemples industriels, et l'importance donnée aux travaux dirigés et aux travaux pratiques sont les garants de l'appartenance de l'automatique au domaine des sciences de l'ingénieur.

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>I - Étude des systèmes</p> <p>I.1 Analyse structurelle des produits existants</p> <p>I.1.a Description générale du produit Frontière d'étude, matière d'œuvre, valeur ajoutée, fonction globale et performance. Architecture générale d'un produit : chaîne d'information, chaîne d'énergie et interfaces ;</p> <p>I.1.b Décomposition structurelle En sous-ensembles permettant d'identifier les chaînes fonctionnelles et leurs constituants : - chaîne d'information ; - chaîne d'énergie ; - interfaces entre la chaîne d'information et la chaîne d'énergie.</p> <p>I.2 Analyse fonctionnelle</p> <p>I.2.a Définitions normalisées Besoin, produit, contrainte, interacteur, cycle de vie, fonction de service, fonction technique, critère, niveau, flexibilité et solution technique.</p> <p>I.2.b Analyse fonctionnelle externe - contrainte imposée au concepteur ; - cycle de vie : phase de conception fabrication, phase d'utilisation ; - frontière du produit, éléments extérieurs, diagramme des interacteurs en phase d'utilisation ; - fonctions de services ; - cahier des charges fonctionnel (phase d'utilisation).</p> <p>I.2.c Analyse fonctionnelle interne - méthodes de décomposition fonctionnelle d'une fonction de service en fonctions techniques ; - identification, caractérisation des fonctions techniques : critère, niveau et flexibilité.</p> <p>I.3 Les constituants des produits</p>	<p>Cette partie du programme ne nécessite aucun acquis scientifique préalable et peut donc être présentée en début d'année. Les concepts et les outils de l'analyse fonctionnelle et structurelle des systèmes sont mis en œuvre durant les deux années de formation dans les limites des compétences de lecture du cahier des charges fonctionnel et du FAST.</p> <p>Les activités sont organisées à partir de systèmes réels instrumentés ou didactisés du laboratoire de sciences industrielles et de dossiers techniques. Ainsi, elles peuvent être introduites par des activités de travaux pratiques organisées dès le début de l'année scolaire.</p> <p>L'outil SADT (A-0 et A0) est privilégié pour la décomposition structurelle en sous-ensembles fonctionnels. L'étude des chaînes fonctionnelles comme sous-ensembles de systèmes permet de définir une base de données de solutions techniques associées aux fonctions techniques (alimenter, distribuer, convertir, transmettre, acquérir, traiter, communiquer, agir). Les constituants des chaînes fonctionnelles (distributeur, variateur, capteur, actionneurs, transmetteurs) sont identifiés (analyse structurelle) et leurs fonctions techniques sont précisées.</p> <p>L'étude du cahier des charges est limitée aux notions de base : besoin, fonctions, contraintes. Le cahier des charges fonctionnel est fourni à l'étudiant. Il doit être capable d'en extraire les données utiles à la conception " partielle " du produit.</p> <p>Le cours fait référence aux normes en vigueur et met en évidence la démarche générale de constitution du cahier des charges fonctionnel en appliquant la méthode de recherche systématique des interactions avec les milieux environnants (interacteurs). La démarche de conception est initiée dès la PTSI.</p> <p>L'outil de l'analyse fonctionnelle interne (FAST) est privilégié pour présenter les études conduites en travaux dirigés de conception. Il doit permettre de formuler un problème, l'étudiant doit savoir le lire et le compléter dans le cadre des fonctions techniques et des solutions techniques du programme.</p> <p>Les activités du paragraphe I. 3 seront conduites à partir : - d'un système réel en état de fonctionnement (didactisé ou non), accompagné d'un dossier technique, - ou d'un dossier technique numérisé relatif à un système réel. Les compétences acquises doivent permettre : - d'associer les divers constituants aux fonctions techniques réalisées, - de définir et de caractériser les énergies d'entrée et de sortie, - de définir et de caractériser les informations d'entrée et de sortie, - valider les caractéristiques des constituants par rapport aux performances attendues.</p>

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>I.3.a La chaîne d'énergie I.3.a.1 Les actionneurs et pré-actionneurs associés - principes physiques de la transformation d'énergie ; - caractéristiques ; - domaines d'application et leur évolution. Pour les solutions techniques suivantes : - moteurs (électriques, hydrauliques, pneumatiques, thermiques), - vérins (électriques, hydrauliques, pneumatiques). I.3.a.2 Les transmetteurs de puissance mécanique et les effecteurs - principes physiques de la transmission d'énergie ; - caractéristiques ; - domaines d'application et leur évolution. Pour les solutions techniques suivantes : - arbres et accouplements ; - mécanismes plans à barres ; - mécanisme vis écrou ; - réducteurs et multiplicateurs.</p> <p>I.3.b La chaîne d'information I.3.b.1 Les commandes programmables - fonctions. Pour les solutions techniques suivantes : - automates programmables industriels ; - micro ordinateurs équipés de cartes entrées-sorties ; - systèmes micro-contrôlés. I.3.b.2 Les capteurs et détecteurs - fonctions ; - typologies des informations d'entrée et de sortie. Pour les solutions techniques relatives aux : - position, déplacement, vitesse et accélération ; - efforts et pressions ; - débits et températures. I.3.b.3 Les interfaces entre les chaînes d'information et d'énergie - fonctions ; Pour les solutions techniques suivantes : - cartes E/S industrielles (TOR et analogique) ; - contacteur et relais ; - variateur électronique de vitesse ; - distributeur pneumatique et hydraulique ; - régulateur de débit et de pression.</p>	<p>Les calculs de dimensionnement des actionneurs et pré-actionneurs ne sont pas au programme, seule la vérification des performances de ceux-ci est exigée. Les actionneurs sont abordés en travaux pratiques sous l'aspect fonctionnel en liaison avec le cours d'automatique, de mécanique et de physique.</p> <p>L'étude mécanique globale des transmetteurs se limite en première année à la cinématique et aux actions mécaniques (effets statiques). Les calculs de dimensionnement des transmetteurs et des effecteurs ne sont pas au programme, seule la vérification des performances est demandée. Les constituants de la chaîne d'énergie sont abordés sous l'aspect fonctionnel en liaison avec le cours de mécanique.</p> <p>Les commandes programmables sont abordées en travaux pratiques sous l'aspect fonctionnel en liaison avec le cours d'automatique, d'informatique et de physique. Aucune exigence quant à l'utilisation d'outil de programmation n'est au programme (utilisation de progiciel en travaux pratiques d'automatique).</p> <p>Les capteurs et détecteurs sont abordés en travaux pratiques sous l'aspect fonctionnel en liaison avec le cours d'automatique, de mécanique et de physique.</p> <p>Les interfaces de commande et de puissance sont abordées en travaux pratiques sous l'aspect fonctionnel, en liaison avec le cours d'automatique et de physique.</p>
<p>II - Communication technique</p>	
<p>II.1 Lecture de documents techniques Dossiers techniques numérisés, documents, perspectives, éclatés, photos, différentes représentations schématiques et géométriques.</p>	<p>Afin de faciliter la maîtrise progressive des outils de communication technique contemporains, il est conseillé, en début d'année, d'utiliser des dossiers techniques relatifs aux supports présents dans le laboratoire de sciences industrielles. L'outil de représentation FAST est privilégié pour l'analyse fonctionnelle interne des produits.</p>
<p>II.2 Outils de description fonctionnelle Représentations de type FAST et SADT</p>	<p>L'outil SADT (limité à deux niveaux consécutifs) est privilégié pour l'analyse fonctionnelle des systèmes. On se limite aux activités de lecture. La connaissance des symboles normalisés prescrits par les différentes normes, ne peut être exigée. Les étudiants doivent disposer en permanence d'une documentation sur les normes.</p>

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>II.3 Outils de description structurelle</p> <p>II.3.a Représentation schématique</p> <ul style="list-style-type: none"> - graphe de structure ; - schémas mécaniques : cinématique, d'architecture et technologique ; <p>- schémas pneumatiques et hydrauliques ;</p> <p>- schémas électriques.</p> <p>II.3.b Représentation géométrique des pièces mécaniques</p> <p>II.3.b.1 Normalisation</p> <ul style="list-style-type: none"> - principe ; - représentations normalisées ; - documents et dossiers techniques. <p>II.3.b.2 Dessin technique</p> <p>Réalisation et lecture de représentations multivues. Réalisation de perspectives à main levée.</p> <p>Représentation par modelleur volumique paramétré variationnel :</p> <ul style="list-style-type: none"> - différents modes de création des pièces ; - arbre de construction ; - paramétrage géométrique ; - assemblages sous contraintes ; - arbre d'assemblage ; - animation, déplacements et interférences ; - exploitation de bases de données de composants. <p>II.3.b.3 Relation 2D-3D</p> <ul style="list-style-type: none"> - mise en plan, choix et disposition des vues ; - coupes et sections, hachurage ; - fonctions d'habillage. <p>II.3.c Spécifications géométriques et règles de cotation des ensembles mécaniques</p> <p>Définitions :</p> <ul style="list-style-type: none"> - élément réel, élément spécifié critères d'association ; - référence, système de références ordonnées, règles de construction. <p>Description normalisée de la cotation. Disposition normalisée de la cotation sur les dessins. Spécifications des tolérancements :</p> <ul style="list-style-type: none"> - principe de l'indépendance et exigence de l'enveloppe (ISO 8015) ; - tolérances intrinsèques : dimension, forme, état de surface ; - ajustements normalisés ; - tolérancement d'orientation ; - tolérancement de position ; - battement ; - exigences du maximum de matière. 	<p>Seule la schématisation des liaisons usuelles entre deux solides est exigible (norme en vigueur).</p> <p>La schématisation mécanique est adaptée aux problèmes traités :</p> <ul style="list-style-type: none"> - le schéma cinématique minimal (ou fonctionnel) est le schéma qui permet la description du mouvement entre les sous-ensembles cinématiquement équivalents, - le schéma d'architecture (liaison parallèle et liaison série) est celui qui permet par exemple de calculer les actions mécaniques dans les liaisons mais également de montrer la réalisation en contacts surfaciques des liaisons ponctuelle et linéique. - le schéma technologique représente une solution technique. <p>Les schémas électriques, pneumatiques et hydrauliques sont fournis à l'élève dans le cadre d'une étude spécifique d'un produit, accompagnés de la norme de représentation des composants. Ils doivent se limiter au minimum indispensable à la conduite de l'étude proposée et être suffisamment commentés.</p> <p>Essentiellement au cours de séances de TD, à partir de la lecture de documents ou de matériels définissant une solution industrielle, cette partie participe à la formation à l'analyse des agencements des ensembles mécaniques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - réalisation ou interprétation d'un schéma technologique ou d'architecture ; - interprétation d'une représentation géométrique 2D ou 3D ; - utilisation des outils de représentation (dessin multivues, à main levée ou modelleur 3D) ; - analyse du contenu d'un dossier technique. <p>Cette partie apporte les connaissances des méthodes de réalisation des dessins techniques nécessaires à la conception des ensembles mécaniques. L'exploitation de petites maquettes numériques constitue un support d'assimilation des méthodes d'élaboration des documents techniques permettant : - d'explicitier des solutions techniques ; - d'effectuer des mises en plan ; - d'effectuer des traitements ultérieurs dans les domaines : de la simulation mécanique, de la fabrication et de la métrologie. Ces notions étant connues des bacheliers S-SI, il s'agit d'un enseignement de soutien destiné aux autres élèves à faire en début d'année.</p> <p>Le savoir faire est limité à :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la création de volumes par extrusion, révolution ou balayage ; - l'ajout de nervures, de dépouilles, de congés ; - répétitions cycliques ou linéaires de fonctions ; - l'importation des composants d'assemblages classiques : visserie, rondelles, goupilles, clavettes, segments d'arrêt. <p>Les fonctions de lissage, de surfaces, de congés à rayons variables et les fonctions des modules métiers ne seront pas abordées. L'outil informatique est largement privilégié pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - dessiner des pièces en projection ou en perspective ; - analyser, modifier ou compléter des dessins d'ensemble. <p>Le dessin à main levée sera utilisé spécialement pour l'élaboration de solutions en phase de "reconception".</p> <p>À partir d'un dessin d'ensemble accompagné des dessins de définition de produit définissant une solution industrielle, l'étudiant doit être capable d'identifier et d'interpréter les spécifications. La démarche sera celle du GPS.</p>

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>III - Automatique</p> <p>III.1 Introduction, aspects généraux - définitions ; - buts et motivations ; - évolution historique (exemples).</p> <p>III.2 Description fonctionnelle des systèmes de traitement de l'information - architecture générale de la chaîne d'information ; - flux d'échanges avec la chaîne d'énergie ; - fonctions réalisées, identification et caractérisation des entrées-sorties ; - exemples : systèmes combinatoires, séquentiels et asservis.</p> <p>III.3 L'information - définition et nature, information et support d'information ; - information discrète (TOR et numérique), codage ; - information analogique.</p> <p>III.4 Systèmes asservis</p> <p>III.4.a Introduction des systèmes asservis - définition et structure d'un système asservi : chaîne directe (ou chaîne d'action), chaîne de retour (ou chaîne d'acquisition), comparateur et écart ; - consigne, perturbation ; - régulation, poursuite ; - définition des performances : rapidité, précision et stabilité.</p> <p>III.4.b Modélisation et comportement des systèmes linéaires continus et invariants - modélisation par équation différentielle ; - calcul symbolique ; - représentation par fonction de transfert : forme canonique, gain, ordre et classe ; - réponse temporelle pour des systèmes du 1 et 2ème ordre.</p> <p>III.4.c Systèmes linéaires continus invariants asservis - représentation par schémas-blocs : transformation et réduction de schémas-blocs ; - fonction de transfert en boucle ouverte et en boucle fermée ; - rapidité et précision en réponse à une entrée en échelon.</p> <p>III.4.d Identification des systèmes linéaires continus et invariants Modélisation et identification : Généralités, modèles de connaissances et modèles de représentation pour une entrée en échelon pour les systèmes du 1 ordre et du 2ème ordre à pôles complexes conjugués.</p>	<p>Cette partie doit permettre la présentation de la discipline automatique, de ses domaines d'application, de son but, de son évolution, elle peut donc être traitée en début d'année. La diversité des systèmes automatiques rencontrés en travaux pratiques permet d'illustrer efficacement cette introduction.</p> <p>Rattrapage pour les élèves issus de SVT : les chapitres III. 2 et III - 3 sont traités en s'appuyant principalement sur les produits présents dans le laboratoire.</p> <p>Le codage de l'information se limite à la représentation des nombres en binaire (binaire naturel, binaire réfléchi, code p parmi n). La numérisation de l'information se limite au principe de l'échantillonnage et de la conversion (CAN et CNA).</p> <p>La définition de la stabilité a pour seul but de préciser que seuls les systèmes stables sont abordés en première année.</p> <p>La définition des marges de stabilité et l'évaluation de la précision des systèmes asservis sont au programme de deuxième année.</p> <p>L'utilisation de la transformée de Laplace ne nécessite aucun pré-requis mathématique. Sa présentation se limite à son énoncé et aux propriétés du calcul symbolique. Les théorèmes des valeurs initiale et finale sont donnés sans démonstration. Les signaux canoniques d'entrée se limitent à l'impulsion, l'échelon, la rampe.</p> <p>Les compétences acquises doivent permettre, à partir d'un système modélisé comme un premier ordre, un second ordre de prévoir les réponses temporelles, en marquant avec soin les éléments caractéristiques. Le caractère physique et ou informationnel des grandeurs définissant les liens entre blocs doit toujours être précisé avec soin.</p> <p>À partir d'un système linéaire continu et invariant défini par un schéma de structure ou par une réalisation industrielle, les compétences acquises doivent permettre : - d'analyser ou d'établir le schéma fonctionnel minimal du système ; - de déterminer la fonction de transfert globale du système ; - de prévoir ses performances en rapidité et en précision. Les exercices d'application du cours, ainsi que les calculs simples sont conduits analytiquement. Les développements et les calculs plus complexes peuvent faire l'objet d'un traitement informatique. Les résultats sont alors analysés. On insiste particulièrement sur les notions de système et de modèle, sur la réalité et la représentation mathématique qui en est faite.</p>

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>III.5 Systèmes logiques III.5.a Systèmes combinatoires</p> <ul style="list-style-type: none"> - définition d'un système combinatoire ; - codage de l'information : binaire naturel, binaire réfléchi, code p parmi n ; - algèbre de Boole. Théorème de De Morgan ; - opérateurs logiques fondamentaux ; - fonctions logiques de deux variables logiques ; - spécification d'une fonction booléenne : table de vérité, tableau de Karnaugh ; - techniques de simplification élémentaires : méthode algébrique et méthode de Karnaugh ; - logigrammes ; - exemples de réalisations câblées : électroniques ou électromécaniques et programmées ; <p>III.5.b Systèmes Séquentiels et modèle GRAFCET</p> <ul style="list-style-type: none"> - définition d'un système séquentiel ; - définition de la fonction mémoire et exemples de réalisations ; - chronogrammes, diagramme de Gantt. <p>GRAFCET (Norme en vigueur) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - éléments graphiques de base (sémantique et syntaxe) ; - règles d'évolution ; - mode continu ; - structures de base : <ul style="list-style-type: none"> . séquence unique, . sélection de séquence, . parallélisme structural ; - Représentation des événements. <p>IV - Mécanique</p> <p>Introduction aux différents modèles associés aux pièces mécaniques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - en cinématique : solide localement et globalement indéformable ; - en étude des contacts : solide déformable localement en surface ; - en mécanique des structures : solide déformable globalement en petites déformations. 	<p>On se limite à des fonctions d'au plus quatre variables. L'algèbre de Boole ne nécessite aucun prérequis. Sa présentation se limite aux propriétés strictement nécessaires à ce cours. Les compétences acquises doivent permettre, à partir :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'un système combinatoire dont le fonctionnement est observable, ou décrit par une représentation fonctionnelle, la liste des entrées-sorties étant définie : <ul style="list-style-type: none"> . d'exprimer le fonctionnement par un ensemble d'équations logiques, . d'optimiser la représentation logique par simplification (méthode de Karnaugh, utilisation d'opérateurs NON-ET, et OU exclusif, identité..., application des théorèmes de De Morgan) ; - du cahier des charges d'une partie combinatoire d'un système, une technique (câblée, programmée) et une technologie (relais électrique, composants électroniques ; automate programmable) de réalisation étant choisies : <ul style="list-style-type: none"> . d'analyser et décrire le fonctionnement attendu, . d'exprimer ce fonctionnement au moyen d'une représentation adaptée aux choix technique et technologique imposés (équations logiques, schéma à contact, logigramme), en justifiant les adaptations éventuelles, . de réaliser les fonctions logiques (à partir de composants électriques, électroniques et pneumatiques) ou coder le programme. . de tester la réalisation, . de valider le fonctionnement, en conformité avec le cahier des charges. <p>Un chronogramme permet de déterminer la nature combinatoire ou séquentielle d'un système logique. On insiste particulièrement sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> - l'obtention d'un effet mémoire par auto-maintien et on l'illustre dans diverses technologies ; - les hypothèses (événements, temps) relatives au modèle GRAFCET, la notion de frontière de description. <p>Les compétences acquises doivent permettre, à partir :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'un besoin de mémorisation d'information, d'un outil de représentation et d'une technologie de réalisation imposés (relais auto maintenu ou bi stable, mémoire électronique discrète...), de décrire le fonctionnement attendu. - d'un grafcet fourni selon un point de vue et de la définition des entrées-sorties correspondantes : <ul style="list-style-type: none"> . d'analyser et interpréter ce grafcet vis-à-vis du modèle GRAFCET (5 règles), . de représenter tout ou partie d'une évolution temporelle consécutive à un événement externe. <p>Cette partie du programme s'appuie sur les acquis de géométrie vectorielle dans R^3 traitée en mathématiques et sur les acquis de mécanique du point traitée en physique. Elle a pour but d'introduire les concepts de base de la mécanique newtonienne. On ne rappelle que les définitions indispensables pour la suite, la mécanique du point étant traitée en physique.</p>

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>IV.1 Cinématique du solide indéformable</p>	
<p>IV.1.a Analyse des guidages entre des solides localement et globalement indéformables</p> <ul style="list-style-type: none"> - définitions des déplacements des solides : repère lié à un solide, paramètres géométriques linéaires et angulaires définissant la position d'un solide par rapport à un autre solide (angles d'Euler), déplacements et petits déplacements d'un solide ; - modélisation cinématique des liaisons entre solides : liaisons normalisées et degré de mobilité. 	<p>On insiste sur le fait qu'à tout solide peut être associé un repère. L'analyse des solutions techniques (connaissance de la géométrie, des jeux, des matériaux constituant les pièces, des efforts appliqués...) est absolument nécessaire. A partir de cette analyse et en insistant sur les paramètres pris en compte, on peut définir la nature de la liaison étudiée.</p> <p>D'une façon générale il convient d'insister sur le fait qu'à un modèle de liaison correspondent plusieurs solutions technologiques.</p>
<p>IV.1.b Champs des vecteurs vitesses et des vecteurs accélérations d'un solide</p> <ul style="list-style-type: none"> - dérivation vectorielle : dérivée temporelle d'un vecteur par rapport à un repère et dérivation composée d'un vecteur par rapport à deux repères distincts ; - champ des vitesses d'un solide, axe central, mouvement hélicoïdal, vecteur vitesse instantanée de rotation, équiprojectivité du champ des vecteurs vitesses : torseur cinématique ; - champ des accélérations d'un solide ; - composition des mouvements de solides : vitesses et accélérations ; . cas particuliers des mouvements : <ul style="list-style-type: none"> . rotation autour d'un axe fixe, . translation, . hélicoïdal, . mouvement plan sur plan (axe instantané de rotation, centre instantané de rotation, théorème des trois plans glissants, base et roulante). 	<p>À cette occasion, on introduit l'outil torseur. On ne donne que les éléments essentiels de la théorie des torseurs : opérations, invariants, axe central, torseur couple et glisseur.</p> <p>Les compétences acquises doivent permettre :</p> <ul style="list-style-type: none"> - à partir d'un système mécanique pour lequel un paramétrage est donné, de : <ul style="list-style-type: none"> . déterminer la trajectoire d'un point d'un solide par rapport à un autre solide, . déterminer le torseur cinématique d'un solide par rapport à un autre solide, . déterminer le vecteur accélération d'un point d'un solide par rapport à un autre solide ; - dans le cas d'un problème plan, d'étudier les mouvements en utilisant : <ul style="list-style-type: none"> . l'équiprojectivité, . la composition des vitesses, . les notions de centre instantané de rotation, de base et de roulante.
<p>IV.2 Étude des contacts entre les différentes pièces d'un mécanisme</p> <ul style="list-style-type: none"> - géométrie des contacts (plan tangent, normale) ; - cinématique des contacts : adhérence ou glissement, roulement et pivotement ; - actions mécaniques dans les contacts : définition d'une action mécanique, concept de force élémentaire et de moment d'une force élémentaire, champs de forces élémentaires, résultante, moment : torseur représentant global d'une action mécanique ; - notions de tribologie : frottement de glissement, adhérence, résistance au roulement et au pivotement ; 	<p>La modélisation des actions mécaniques doit être réalisée avec l'objectif d'une utilisation aussi bien en statique, en dynamique ou en mécanique des structures.</p> <p>La définition des lois du frottement se fait à partir de la modélisation locale, par le champ surfacique des forces élémentaires et est introduite sous la forme locale des lois de Coulomb.</p> <p>L'étude des contraintes et des déformations locales est exclue (théorie de Hertz).</p>
<p>IV.3 Chaînes de solides ouvertes et fermées</p>	
<p>IV.3.a Comportement cinématique des chaînes de solides</p> <ul style="list-style-type: none"> - liaisons cinématiquement équivalentes ; - choix du (des) mouvement(s) pilote(s) dans le cas d'une chaîne ouverte ; - dans le cas d'une chaîne fermée à une seule boucle : <ul style="list-style-type: none"> . relations, entre les paramètres géométriques, issues de la fermeture de la chaîne cinématique, . relations entre les vitesses issues de la fermeture de la chaîne cinématique, . détermination de la mobilité et choix des mouvements pilotes. 	<p>Les formes particulières que peut prendre le torseur des vitesses permettent de faire une classification des liaisons. On en dégage la sous-classe des liaisons normalisées pour lesquelles on précise la géométrie des contacts.</p> <p>La mobilité des chaînes complexes est étudiée en deuxième année. Une sensibilisation est faite en première année avec l'analyse des chaînes simples fermées pour permettre la compréhension des résultats de calcul donnés par les logiciels de simulations mécaniques.</p> <p>Les compétences acquises doivent permettre, à partir :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'un système mécanique réel, ou codifié sous forme de documents compréhensibles, de : <ul style="list-style-type: none"> . préciser les déplacements relatifs possibles entre les solides, . préciser les torseurs cinématiques entre les solides, . proposer une modélisation des liaisons avec une définition précise de leurs caractéristiques géométriques, . réaliser le graphe de structure, . réaliser un schéma cinématique minimal (ou fonctionnel) en lui associant le paramétrage géométrique retenu ; - d'un graphe de structure et d'un schéma cinématique fourni d'un mécanisme, d'écrire, dans le cas d'une chaîne fermée à une seule boucle, les relations géométriques et cinématiques de fermeture de la chaîne.

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>IV.3.b Comportement statique des chaînes de solides</p> <ul style="list-style-type: none"> - isolement et inventaire des actions extérieures appliquées à un solide ou un ensemble de solides ; - principe fondamental de la statique et théorèmes généraux : équilibre d'un solide, d'un ensemble de solides. - théorème des actions réciproques ; - faisabilité du problème (hyperstatisme) ; - cas particuliers : solide soumis à deux glisseurs et à trois glisseurs (résolution graphique) ; - condition d'arc-boutement, disposition de deux contacts autobloquants - méthodes de résolution des problèmes (graphique, analytique avec ou sans outil informatique). 	<p>Les applications de ce cours développées en travaux pratiques et travaux dirigés sont issues des chaînes cinématiques tirées de l'environnement technologique actuel.</p> <p>Les exercices d'application du cours, ainsi que les calculs simples sont conduits analytiquement. Les développements et les calculs plus complexes peuvent faire l'objet d'un traitement informatique. Les résultats sont alors analysés.</p> <p>À partir d'un assemblage et d'hypothèses sur son comportement conduisant à une répartition de forces élémentaires, les compétences acquises doivent permettre de définir le torseur associé.</p> <p>L'étude des actions mécaniques intérieures à un système mécanique est limitée aux inter-efforts entre les solides indéformables constituant le système étudié.</p> <p>L'écriture systématique des $6n$ équations d'un système composé de n solides est à proscrire.</p> <p>La méthode de résolution peut être analytique ou numérique.</p> <p>L'outil informatique peut être utilisé pour aider à la résolution mathématique de systèmes complexes.</p> <p>Dans les cas simples (trois forces maximum), une méthode graphique peut être utilisée. L'étude générale des funiculaires n'est pas au programme.</p> <p>Les actions mécaniques extérieures sur tout ou partie d'un mécanisme et un schéma d'architecture étant fournis, les compétences acquises doivent permettre :</p> <ul style="list-style-type: none"> - de vérifier si la modélisation est compatible avec le calcul des inconnues de liaison demandées et formuler des hypothèses complémentaires permettant ce calcul dans le cas contraire, - de choisir la méthode et conduire le calcul jusqu'à la détermination complète des inconnues de liaison spécifiées, - de choisir la méthode et conduire le calcul pour déterminer la valeur des paramètres conduisant à des positions d'équilibre (par exemple l'arc-boutement), - d'exploiter et interpréter les résultats d'un logiciel de calcul (analyse de la modélisation proposée et des résultats obtenus).
<p>V - Conception et élaboration des ensembles mécaniques</p> <p>V.1 Analyse technique et caractéristiques des assemblages et des guidages</p> <p>V.1.a Aspects fonctionnels</p> <p>Fonctions.</p> <p>Caractérisation :</p> <ul style="list-style-type: none"> - torseur statiquement transmissible ; - torseur cinématiquement admissible. <p>V.1.b Aspects technologiques</p> <p>Écarts, dus à la solution technique, entre les modèles adoptés et la réalité observée :</p> <ul style="list-style-type: none"> - influence du jeu, de la précision, des dimensions et des dispositions sur le comportement souhaité ; - influence du frottement sur les efforts transmis (auto-blocage, arc-boutement, couple parasite). <p>Influence des conditions de montage.</p>	<p>Il s'agit d'une introduction à la conception de la chaîne d'énergie des produits, limitée aux ensembles mécaniques intervenant dans les parties Transformer Transmettre et Agir. Une attention toute particulière est portée en première année à la définition des pièces en associant les fonctions de la pièce, les procédés et les matériaux. Ainsi après avoir étudiés les différents aspects (fonctionnels, technologiques, géométriques et physiques) que doivent remplir les liaisons, l'étudiant doit avoir quelques connaissances sur les matériaux pouvant constituer les pièces ainsi que sur les procédés d'obtention. Les travaux dirigés de conception en première année conduisent les élèves à produire des solutions techniques réalisant les fonctions techniques du programme.</p> <p>Cette partie du programme prépare les élèves de première année à l'étude détaillée des solutions techniques retenues dans le programme de seconde année. Cette première approche doit permettre d'acquérir des méthodes d'analyse et une culture des solutions techniques.</p> <p>Une liaison réelle étant matériellement fournie ou définie à partir de son dessin d'ensemble, l'étudiant doit être capable de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - proposer un torseur cinématique admissible et un torseur d'efforts transmissibles ; - évaluer la solution (précision du mouvement).

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>V.1.c Aspects géométriques</p> <ul style="list-style-type: none"> - association de surfaces simples réalisant la liaison souhaitée (cylindre, plan, cône, sphère) ; - définition de la normale et du plan tangent en un point de contact ; caractérisation du comportement. 	<p>Il s'agit d'une étude méthodique de l'analyse des liaisons présentées à partir d'exemples. Le cours restera pragmatique, les débordements théoriques sont à éviter. Il est exclu d'introduire les notions de complexe de droites, de congruences.</p>
<p>V.1.d Aspects comportement des contacts</p> <ul style="list-style-type: none"> - contact sans mouvement relatif : application d'un modèle de répartition linéaire de pression au contact (ligne ou surface) ; - contact avec glissement : application d'un modèle de répartition linéaire de pression au contact (ligne ou surface), vitesse de glissement. 	<p>Ne sont pas au programme : - la théorie de Hertz ; - les liaisons élastiques ; - les calculs des déformations et des précharges.</p>
<p>V.1.e Aspects énergétiques</p> <ul style="list-style-type: none"> - puissance dissipée ; - rendement. 	<p>Lors de la présentation des modèles, on insistera sur le fait que ce n'est qu'une approche simplifiée de la réalité propre à un critère et qu'un modèle n'est pas unique.</p>
<p>V.2 Démarche de conception appliquée aux fonctions techniques du programme</p> <ul style="list-style-type: none"> - caractérisation d'une fonction technique ; - recherche de solutions techniques ; - critères de choix de la solution technique retenue ; - validation de la solution technique ; - définition de la solution par les outils de la communication appropriés. 	<p>Le niveau de conception se limite à la proposition justifiée et à la définition de solutions techniques réalisant les fonctions techniques du programme. Des grilles ou des guides de choix multicritères peuvent être fournis aux élèves. La validation se limite à la mise en œuvre des modèles de comportement connus des élèves ainsi que la prise en compte des possibilités de réalisation.</p>
<p>V.3 Assemblage des pièces-Liaison encastrement</p> <ul style="list-style-type: none"> - définition de la fonction ; - caractérisation de la fonction technique ; - principes d'immobilisation par obstacles ou adhérence ; - familles de solutions ; - technologie des composants, critères de choix ; - solutions techniques et conception des liaisons : <ul style="list-style-type: none"> . à plan prépondérant, . à cylindre prépondérant, . à cône prépondérant ; - conditions d'utilisation et calculs relatifs à la transmission d'un couple ou d'un glisseur : <ul style="list-style-type: none"> . assemblages cylindriques (goupilles, clavettes, cannelures), . assemblages coniques non auto frettés, . liaison à encastrement plan prépondérant ; - démarche de conception appliquée aux liaisons encastrement. 	<p>La définition des solutions inclut les spécifications des conditions de fonctionnement. À partir d'un cahier des charges et d'une documentation technique, l'étudiant doit être capable : - de décrire ou choisir les solutions techniques réalisant un encastrement, ou un guidage en rotation par glissement ; - de représenter une solution complète avec les conditions de fonctionnement.</p> <p>L'étude se limite aux encastrements démontables. À partir des différences de contenu du cahier des charges, on met en évidence les différents types de solutions techniques. Le calcul des liaisons par pincement, frettage ou par coincement auto fretté, n'est pas au programme. Les assemblages collés ne sont pas au programme. Le dimensionnement est limité aux encastrements à appui plan prépondérant dans le cas de modèle de pression uniforme, et aux encastrements à pénétration cylindrique prépondérante (cannelures, clavettes) à partir d'un critère classique de matage.</p> <p>Pour le cône on se limite à un glisseur ou à un couple coaxial à l'axe du cône.</p>
<p>V.4 Guidage en rotation</p> <ul style="list-style-type: none"> - architecture des guidages en rotation . définition de la fonction, . caractérisation de la fonction technique, . principes de réalisation : une ou deux portées, plan prépondérant, disposition des arrêts axiaux ; - guidage en rotation avec glissement : paliers lisses . familles de solutions, . composants du commerce, conditions d'utilisation et dimensionnements correspondants, . solutions techniques et conception des liaisons, . démarche de conception appliquée aux guidages en rotation sur paliers lisses. 	<p>Les guidages hydrostatiques et hydrodynamiques ne sont pas au programme.</p> <p>On se limite aux cas de charges radiales centrées par rapport aux portées, et purement axiales dans le cas des butées. Les critères à prendre en compte sont ceux de la pression diamétrale maximale et du produit PV.</p>

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>V.5 Matériaux</p> <ul style="list-style-type: none"> - classes des matériaux homogènes et isotropes métalliques et non métalliques ; domaines généraux d'application ; - matériaux métalliques (classification, cas d'emploi et désignation normalisée) : aciers, fontes, alliages d'aluminium et cuivreux ; - propriétés physiques et thermiques : masse volumique, coefficient de dilatation linéaire, température de fusion des matériaux métalliques ci-dessus ; - propriétés de mise en forme : <ul style="list-style-type: none"> . usinabilité, . moulabilité, . soudabilité, . ductilité ; - propriétés tribologiques : coefficient de frottement et propriétés de comportement des contacts entre couples de matériaux ; - propriétés mécaniques : caractéristiques mécaniques issues des essais de : <ul style="list-style-type: none"> . traction, . dureté, . résilience, . fatigue (diagramme de Wöhler). <p>V.6 Procédés d'obtention des pièces</p> <p>V.6.a Présentation structurée des principes d'obtention des pièces brutes</p> <ul style="list-style-type: none"> - présentation des principaux modes d'obtention des pièces brutes : moulage, déformation plastique, mécano soudure ; - domaines respectifs d'application, - compatibilité des couples matériaux procédés ; - situation du moulage parmi ces procédés, avantages et limites ; - lien fonction-géométrie-matériau- procédé ; - exemples et champs d'application. <p>V.6.b Obtention de surfaces par enlèvement de matière</p> <ul style="list-style-type: none"> - présentation structurée des principaux procédés d'obtention des surfaces par enlèvement de matière : usinage à l'outil, rectification. Situation de l'usinage à l'outil coupant parmi ces procédés, avantages et limites - présentation structurée des techniques principales d'obtention des surfaces des pièces usinées (principe de génération et cinématique) ; situation du fraisage, du tournage et des opérations axiales parmi ces techniques ; système pièce-outil-machine ; - classification et terminologie des surfaces usinées ; - domaines respectifs d'application ; - avantages, inconvénients ; - phénomène de base, étude de la coupe, efforts de coupe : <ul style="list-style-type: none"> . aptitude des matériaux à l'usinage, . incidence de la géométrie de la partie active et de l'avance d'un outil à arête unique sur l'état de surface. - moyens d'usinage : <ul style="list-style-type: none"> . les fonctions des machines, . les machines à commande numérique : tours 2 axes, fraiseuse 3 axes, . les outils, géométrie et matériau usinant ; - mise en œuvre des machines outils : <ul style="list-style-type: none"> . réglage des machines, . situation de la pièce en usinage définition (MO, porte pièce, pièce, outil, porte outil), . mise en position des pièces, . paramétrage des opérations, . processus d'usinage d'entités élémentaires, . réalisation, . qualité des surfaces usinées : contrôle micro et macrogéométrique de la surface réalisée ; 	<p>Il s'agit d'une information sur les matériaux et les procédés actuels d'obtention des pièces, et d'une sensibilisation à l'interaction entre le matériau et le procédé de mise en œuvre pour la réalisation de la pièce. Les compétences acquises doivent permettre :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'identifier un matériau et sa composition à partir de sa désignation (matériaux ferreux) ; - de donner un ordre de grandeur des caractéristiques physiques des matériaux des différentes pièces métalliques ; - donner un ordre de grandeur des caractéristiques mécaniques des matériaux ferreux (Re, Rm, E, G) avec ou sans traitement thermique ; - de décrire un essai et d'en interpréter les résultats ; - pour une pièce en phase d'analyse ou de conception : <ul style="list-style-type: none"> . de proposer des critères de choix, . de choisir un matériau dans une liste fournie ; - de définir les domaines d'application des matériaux métalliques. On se limite à la notion de grippage. <p>On se limite aux définitions des critères associés à ces essais.</p> <p>Les connaissances sur les différents procédés restent générales. Le candidat doit être en mesure de présenter, pour chaque procédé, le principe d'obtention des formes, ses limites d'applications, d'associer un matériau à un procédé, et d'associer un (des) procédé(s) à partir des formes et d'un matériau fournis. Les techniques de génération des formes dans la mise en œuvre du procédé ne sont pas au programme.</p> <p>Les travaux pratiques de fabrication permettent de faire le lien entre la représentation des pièces et leur réalisation. L'objectif, à la fin des deux années de formation, est de définir des pièces réalisables simplement, d'identifier les paramètres géométriques, mécaniques et technologiques de mise en œuvre.</p> <p>La présentation des autres procédés du programme s'appuie sur des exemples de pièces, des visites d'entreprises.</p> <p>Les travaux pratiques de fabrication sont limités à l'usinage à l'outil coupant sur des machines actuelles de tournage et de fraisage. Ils conduisent les élèves à s'approprier les performances et les contraintes liées à l'usinage des surfaces planes et de révolution intérieures et extérieures, et des surfaces obtenues par opérations axiales (perçages, alésages et taraudages).</p> <p>La réduction du nombre de posages, la stabilité du maintien, l'accès d'outils standard à faible porte à faux, la réduction du nombre des outils, doivent être une préoccupation permanente au cours du tracé des pièces.</p> <p>Les paramètres de coupe sont ceux préconisés par les fabricants de plaquettes. Les lois d'usure ne sont pas au programme.</p> <p>À partir des fonctions techniques auxquelles participe une pièce (surfaces fonctionnelles et fonctions de la pièce), l'étudiant doit être capable de tracer des formes usinables, de proposer un procédé d'obtention et un mode de génération des surfaces pour leur réalisation en fonction du cahier des charges.</p> <p>Il s'agit du contrôle, des spécifications figurant au contrat de phase, à cette occasion l'étudiant est amené à utiliser les moyens standard.</p>

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p>- règles de tracé à respecter pour l'obtention des pièces usinées, domaine d'application ;</p> <p>- démarche de tracé des pièces usinées :</p> <ul style="list-style-type: none">. cahier des charges,. surfaces fonctionnelles,. agencement des surfaces en fonction du cahier des charges,. adaptation des formes en fonction des contraintes du procédé d'usinage.	<p>On insiste sur le tracé des pièces usinées en présentant de nombreuses études de cas.</p>