

## Annexe III

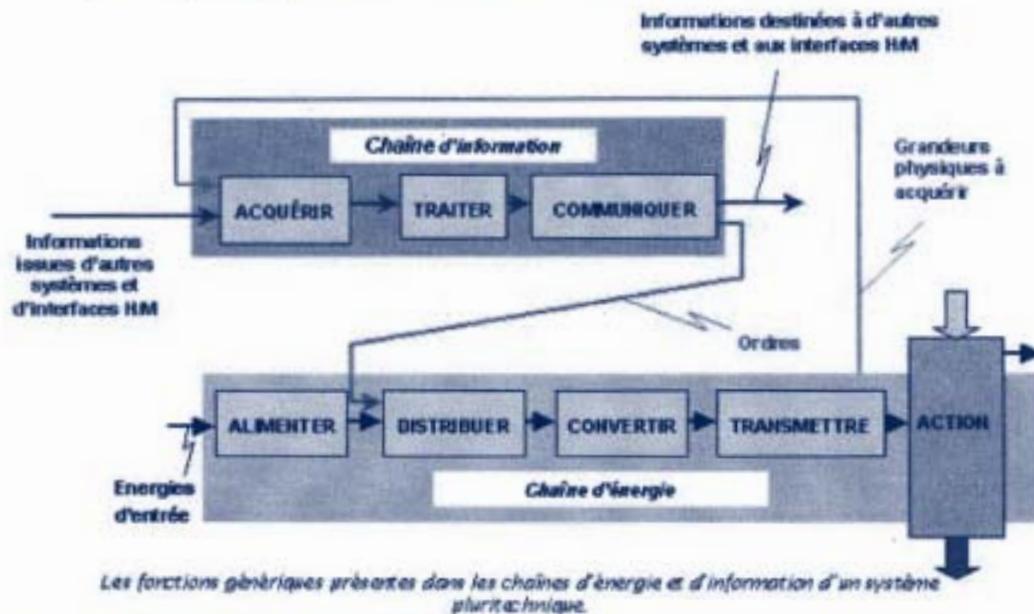
### Programme de sciences industrielles pour l'ingénieur pour la voie physique et technologie (PT)

#### Préambule

La formation proposée dans la filière Physique et Technologie est basée sur l'analyse et la conception des systèmes techniques dans les domaines de la mécatronique, de la mécanique industrielle, des structures, de la domotique, des transports, des produits grand public, ..., répondant à un besoin exprimé.

Les séquences d'enseignement conduisent les étudiants à s'intéresser aux différentes familles de systèmes ci-dessus en privilégiant une approche progressive de leur complexité.

La conception et l'analyse des systèmes doivent prendre en compte les notions de chaînes d'énergie et d'information systématiquement présentes dans les systèmes actuels.



L'organisation pédagogique de la formation permet aux étudiants, à travers l'étude de cas concrets, d'aborder parallèlement les champs disciplinaires des parties I, II et III du programme de seconde année.

#### Sommaire

##### I.) ANALYSE ET CONCEPTION DES SYSTÈMES

- I.1.) Analyse des systèmes existants
- I.2.) Démarche de conception appliquée aux fonctions techniques

##### II.) CONCEPTION ET COMPORTEMENT DES PARTIES MÉCANIQUES DES SYSTÈMES

- II.1.) Mécanique des chaînes de solides
- II.2.) Fonctions techniques
- II.3.) Définition des ensembles mécaniques
- II.4.) Approche Produit-Procédé-Matériau

##### III.) CONCEPTION ET COMPORTEMENT DES SYSTÈMES

- III.1.) Fonctions et solutions techniques associées
- III.2.) Analyse du comportement des systèmes

PROGRAMME	COMMENTAIRES
<p><b>I.) ANALYSE ET CONCEPTION DES SYSTÈMES</b></p>	
<p><b>I.1.) Analyse des systèmes existants</b> Analyse fonctionnelle, structurelle et comportementale</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• analyse externe ;</li> <li>• analyse interne.</li> </ul> <p><b>I.2.) Démarche de conception appliquée aux fonctions techniques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• caractérisation d'une fonction technique ;</li> <li>• recherche de solutions techniques ;</li> <li>• critères de choix de la solution technique retenue ;</li> <li>• validation de la solution technique ;</li> <li>• dessin d'étude définissant la solution : <ul style="list-style-type: none"> <li>- représentation de la solution par les outils de la communication appropriés,</li> <li>- spécification des conditions fonctionnelles d'aptitude à l'emploi.</li> </ul> </li> </ul>	<p>En analyse comme en conception, l'étudiant doit être capable de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• représenter les solutions techniques sous forme de schémas, de dessins multi vues : à main levée, aux instruments ou à l'aide de la CAO dans les limites définies par le programme.</li> <li>• vérifier le dimensionnement des liaisons et des pièces à partir de critères de choix proposés, dans le cadre des fonctions techniques du programme ;</li> </ul> <p>La validation se limite à la mise en œuvre des modèles de comportement connus des étudiants ainsi que la prise en compte des possibilités de réalisation. Des guides peuvent être fournis aux élèves.</p> <p>À partir d'un système existant (système matériel instrumenté ou non et/ou du dossier technique) l'étudiant doit être capable,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• d'effectuer l'analyse interne et externe</li> <li>• de justifier la solution proposée, dans le cadre des connaissances du programme :</li> <li>• de le situer dans son environnement en phase d'utilisation ;</li> <li>• d'identifier des fonctions de service ;</li> <li>• d'identifier des solutions techniques et les composants associés ;</li> <li>• de justifier des solutions techniques ;</li> <li>• d'analyser des comportements de tout ou partie du système.</li> </ul> <p>Dans le cadre d'une organisation fonctionnelle interne (FAST) fournie, avec les documents techniques associés et des critères de choix proposés, l'étudiant doit être capable d'intégrer :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• des constituants de la chaîne d'information ou de la chaîne d'énergie ;</li> <li>• des composants de type actionneur, capteur, élément de commande et de transmission de puissance.</li> </ul> <p>Par l'exploitation d'un cahier des charges et/ou du schéma d'architecture, et/ou d'une documentation technique, l'étudiant doit être capable de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• décrire ou choisir les solutions techniques réalisant les fonctions techniques du programme et de les associer dans la conception d'un mécanisme ;</li> <li>• mener à bien un choix de composants, de proposer un matériau et de tracer des pièces (à partir d'un nombre limité de critères propres à l'application) ;</li> </ul>

- concevoir et dimensionner tout ou partie d'une solution en utilisant les connaissances et les éléments de modélisation définis pour les fonctions techniques inscrites au programme ;

- proposer une modification constructive ;

- définir complètement la solution en incluant des spécifications de conditions fonctionnelles.

Le niveau de conception se limite à la proposition argumentée et à la définition de solutions techniques réalisant les fonctions techniques du programme.

Les solutions techniques doivent prendre en compte les contraintes de réalisation, de montage et d'intégration des éléments environnants.

## II.) CONCEPTION ET COMPORTEMENT DES PARTIES MÉCANIQUES DES SYSTÈMES

### II.1.) Mécanique des chaînes de solides

#### II.1.1.) Dynamique des solides à masse conservative

##### II.1.1.a) Caractéristiques d'inertie des solides

- Principe de conservation de la masse ;
- Caractéristiques d'inertie pour un solide :
  - masse,
  - centre d'inertie,
  - opérateur d'inertie.

##### II.1.1.b) Cinétique

- torseur cinétique, torseur dynamique et énergie cinétique dans le cas d'un solide ;
- expressions de ces éléments pour un système de solides.

##### II.1.1.c) Principe fondamental de la dynamique

- principe fondamental de la dynamique des systèmes à masse conservative ;
- théorème des actions réciproques ;
- théorèmes généraux ;
- puissance des efforts extérieurs, des inter-efforts ;
- rendement ;
- théorème de l'énergie cinétique ou sous forme instantanée : énergie puissance.

##### II.1.1.d) Représentation causale

- variable d'état associée à :
  - masse conservative,
  - une raideur,
  - un frottement visqueux ;
- relation de transformation (équations différentielles) ;
- représentations graphiques (graphe informationnel causal ou bond graph).

Afin de réduire les calculs, la détermination des éléments d'inertie se limite aux volumes simples ou à l'utilisation d'un outil CAO.

L'objectif principal est la prise en compte dans un système des effets des quantités d'accélération.

Un modèle de mécanisme étant fourni, l'étudiant doit être capable :

- de choisir la démarche de résolution adaptée au problème posé ;
- d'écrire les équations utiles à la résolution du problème ;
- d'appliquer le principe fondamental (théorèmes généraux et/ou énergétiques) à un système de solides, mobile d'ordre un, en liaisons isostatiques parfaites :
  - le mouvement étant connu, pour déterminer les inconnues de liaison ou les efforts extérieurs spécifiés,
  - les efforts extérieurs étant connus, pour donner la loi du mouvement sous forme d'équation différentielle.

## II.1.2.) Analyse des mécanismes

### II.1.2.a) Définitions

- degré de mobilité d'un mécanisme ;
- degré d'hyperstatisme d'un mécanisme et contraintes géométriques associées.

### II.1.2.b) Étude des chaînes de solides indéformables

- chaîne ouverte ;
- chaîne fermée.

### II.1.2.c) Formules de mobilité

- définie par l'analyse statique ;
- définie par l'analyse cinématique.

On profitera de l'introduction de la représentation causale à propos des systèmes à masse conservative pour montrer par dualité la conservation de l'énergie potentielle des systèmes déformables.

Aucune connaissance concernant le codage graphique n'est exigible. Les éléments de base du formalisme graphique étant fournis, on privilégiera les activités de décodage et d'enrichissement des modèles proposés.

La résolution des équations différentielles peut être conduite par des logiciels adaptés. L'accent est alors mis sur l'exploitation des résultats.

Le théorème de l'énergie cinétique (ou de l'énergie puissance) n'apporte pas une équation supplémentaire à celles fournies par les théorèmes généraux, il s'agit d'une équation scalaire combinaison des précédentes, particulièrement bien adaptée pour les systèmes ne dépendant que d'un paramètre.

Le problème Euler-Poinsot n'est pas au programme.

Cette partie du programme doit être considérée comme la partie synthétique du cours de mécanique du solide.

Elle permet de préparer la conception d'une solution technique par l'aide au choix d'un type de liaison ou d'une architecture de mécanisme.

Les activités de construction donnent lieu à de fréquentes applications de ce chapitre.

Les systèmes mécaniques complexes peuvent être analysés à l'aide de logiciels adaptés.

À partir d'une solution technique fournie pour répondre à un problème posé, l'étudiant doit être capable :

- de proposer un modèle de liaison parfaite traduisant le comportement réel des assemblages élémentaires ;
- de réaliser un schéma cinématique adapté ;
- de le paramétrer géométriquement ;
- d'écrire les relations géométriques et/ou cinématiques, résoudre le système associé et effectuer une analyse de mobilité.

*Nota*

*Les connaissances acquises de 1<sup>ère</sup> année (statique) et de 2<sup>ème</sup> année (dynamique) permettent la détermination des actions mécaniques dans toutes les situations ;*

*La prise en compte des phénomènes dissipatifs est traitée dans le cadre des programmes de statique et de dynamique.*

Il est important de faire comprendre qu'un mécanisme hyperstatique est fonctionnellement acceptable s'il respecte les conditions technologiques nécessaires.

**II.1.3.) Résistance des matériaux**

**II.1.3.a) Les poutres droites**

- définitions et hypothèses ;
- ligne moyenne, section droite ;
- décomposition en deux tronçons ;
- propriétés géométriques de la section droite.

**II.1.3.b) Approche cinématique**

- hypothèse de Navier Bernoulli ;
- hypothèse des petits déplacements : torseur des petits déplacements d'une section droite ;
- torseur des déformations.

**II.1.3.c) Approche efforts**

- modélisation des actions extérieures : champ linéique d'efforts et efforts concentrés ;
- décomposition d'une poutre en deux tronçons ;
- modélisation des efforts intérieurs : torseur de cohésion dans une section droite (coupure, repère local) ;
- équations d'équilibre global et local ;
- champ des contraintes dans une section droite ;
- hypothèse de Saint Venant.

**II.1.3.d) Comportement élastique linéaire des matériaux**

- hypothèses de comportement (isotropie, homogénéité) ;
- loi de comportement par rapport aux phénomènes d'extension et de glissement ;
- module d'élasticité longitudinal  $E$ , coefficient de Poisson  $\nu$ , module d'élasticité transversal  $G$  ;
- limite conventionnelle d'élasticité  $R_{0,2\%}$ .

**II.1.3.e) Applications aux sollicitations classiques**

- traction pure ;
- torsion pure des cylindres de révolution ;
- flexion plane.

**II.1.3.f) Critères de tenue mécanique**

- contrainte :
  - maximum de la contrainte normale,
  - maximum de la contrainte tangentielle ;
 La limite élastique est prise en référence pour caractériser la valeur limite (notion de coefficient de sécurité).
- déplacement ou raideur en un point donné de la ligne moyenne ;

Le programme est limité aux poutres droites à plan de symétrie. L'objectif est la vérification du comportement statique d'une poutre donnée (résistance et raideur) pour un comportement élastique linéaire.

- À partir d'un système réel l'étudiant doit être capable :
- d'extraire un modèle de poutre droite d'une pièce dans le cadre des hypothèses fondamentales de la théorie des poutres ;
  - de définir à partir du chargement les inconnues de liaison dans le cas d'un système isostatique ;
  - de calculer les composantes du torseur de cohésion en tout point de la ligne moyenne ;
  - de définir les sollicitations régnant dans une section droite ;
  - de tracer les diagrammes associés aux composantes du torseur de cohésion ;
  - de décrire le comportement des matériaux métalliques

Le comportement en traction doit être abordé dans le cadre d'un TP (essai de traction).

Champs des contraintes et des déformations dans le cas des sollicitations simples.

En flexion simple, on doit traiter l'expression des contraintes normales dans une section droite. On néglige les effets de l'effort tranchant devant ceux dû au moment fléchissant.

L'étude des sollicitations composées de flexion déviée, de flexion-torsion et le flambement ne sont pas au programme.

Le critère de la contrainte tangentielle maximale est limité à la sollicitation de torsion.

- L'étudiant doit être capable :
- de déterminer la répartition des contraintes dans une section droite ;

<ul style="list-style-type: none"> <li>• sensibilisation au problème des concentrations de contraintes, prise en compte de l'hypothèse de Saint-Venant.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• de vérifier la résistance de la poutre.</li> </ul> <p>L'étude des déformées est limitée aux cas simples suivants pour des chargements réalistes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• traction simple ;</li> <li>• torsion des poutres cylindriques à section circulaire ;</li> <li>• flexion plane d'une poutre comportant au maximum deux tronçons, éventuellement avec l'utilisation d'un formulaire.</li> </ul> <p>L'ordre des systèmes hyperstatiques est limité à 1.</p>
<p><b>II.2.) Fonctions techniques</b></p> <p><b>II.2.1.) Aspects énergétiques des liaisons avec mobilité</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• puissance dissipée, rendement ;</li> <li>• modèles de contact avec roulement et/ou avec glissement ; comparaison des performances ;</li> <li>• critères de choix des liaisons par glissement ou par roulement.</li> </ul> <p><b>II.2.2.) Fonction guidage en rotation</b></p> <p><b>II.2.2.a) Technologie des roulements et butées</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• composants standard y compris pour les roulements à contacts obliques ;</li> <li>• écarts dus à la solution technique, entre les modèles adoptés et la réalité observée ;</li> <li>• comportement du composant et modèles associés ;</li> <li>• critères de choix d'un type de roulement.</li> </ul> <p><b>II.2.2.b) Architectures des guidages par roulements</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• conditions de montage, ajustements ;</li> <li>• dispositions des roulements dans les guidages ;</li> <li>• démarche de choix des positions des arrêts axiaux.</li> </ul> <p><b>II.2.2.c) Solutions techniques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• familles de solutions avec roulements ;</li> <li>• principes de réalisation.</li> </ul> <p><b>II.2.2.d) Calculs relatifs au dimensionnement des guidages</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• calculs statiques ;</li> <li>• calculs dynamiques pour une fiabilité 0,9.</li> </ul> <p><b>II.2.2.e) Conception des guidages en rotation sur roulements</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• application à la conception de guidage mettant en œuvre des roulements standard ;</li> <li>• intégration des fonctions d'étanchéité et/ou de protection et/ou de lubrification.</li> </ul>	<p>Influence du roulement sur les efforts transmis :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• analyse qualitative de la répartition des actions dans les zones de contact ;</li> <li>• résistance au roulement, paramètre de roulement, facteur de résistance au roulement, coefficient « conventionnel » de résistance au roulement.</li> </ul> <p>L'étude de la réalité physique des phénomènes générant la résistance au roulement, qui s'appuie sur l'étude des contacts étroits, n'est pas au programme.</p> <p>La définition des architectures se limite à la mise en place des arrêts axiaux nécessaires à la réalisation du guidage en rotation.</p> <p>Les solutions techniques doivent prendre en compte les contraintes de réalisation, de montage et d'intégration des éléments environnants.</p> <p>Les calculs sont limités :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• aux roulements isolés soumis à un glisseur passant par le centre de poussée ;</li> <li>• aux guidages d'un arbre sur deux roulements ;</li> <li>• aux butées soumises à un glisseur axial centré.</li> </ul> <p>Ne sont pas au programme les calculs de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• déformation ;</li> <li>• précharge ;</li> <li>• durée de vie sous charges variables.</li> </ul> <p>On applique la démarche de conception, définie au § I.2 du programme, aux cas spécifiques des guidages sur roulements.</p>

### **II.2.3.) Fonction guidage en translation**

#### **II.2.3.a) Analyse fonctionnelle du guidage**

- définition de la fonction ;
- analyse fonctionnelle ;
- caractérisation de la fonction technique ;

#### **II.2.3.b) Architecture des guidages en translation**

- profils des guidages ;
- conditions et limites d'application ;
- problème de l'arc-boutement.

#### **II.2.3.c) Solutions techniques**

- familles de solutions :
  - guidage par glissement,
  - guidage par roulement.
- réalisation des réglages des jeux ;
- composants standard, conditions d'utilisation.

#### **II.2.3.d) Conception appliquée aux guidages en translation**

Application à la conception mettant en œuvre des guidages par glissement et roulement.

On applique la démarche de conception, définie au § I.2 du programme, aux cas spécifiques des guidages en translation, à partir de solutions techniques proposées et/ou de schémas d'architecture.

On se limite aux guidages obtenus à partir de profils prismatiques et cylindriques.

Dans le cas des guidages par glissement, on utilise un modèle de répartition des pressions de contact de type :

- affine pour les solutions à bandes planes étroites ;
- uniforme par zone de contact pour les solutions à profil cylindrique réalisé avec deux portées (charge centrée sur chaque portée).

Dans le cas des guidages par roulement :

- la description exhaustive de tous les types de composants n'est pas exigible. On se limite à un composant par famille (billes, rouleaux ou aiguilles) avec ou sans re-circulation.
- la démarche de conception est limitée à l'intégration des composants standard à partir d'une documentation fournie ;
- aucun calcul n'est exigible.

Les conditions de non arc-boutement ne sont abordées qu'à partir de modèles simplifiés plans.

Les calculs de déformation et de précharge ne sont pas au programme.

### **II.2.4.) Transformation de mouvement par liaison hélicoïdale**

#### **II.2.4.a) Analyse fonctionnelle de la transformation**

- définition de la fonction ;
- analyse fonctionnelle ;
- caractérisation de la fonction technique ;

#### **II.2.4.b) Architecture de la solution**

- configurations cinématiques ;
- éléments de choix d'une configuration ;
- conditions d'intégration (isostatisme).

#### **II.2.4.c) Solutions techniques**

- solutions par glissement et par roulement ;
- réalisation des réglages de jeu ;
- composants standard, conditions d'utilisation.

Dans le cadre de la fonction technique on insiste sur :

- le paramétrage ;
- les notions de rendement et de réversibilité ;
- dans le cas de la solution par glissement les calculs ne sont développés que sur la base du modèle à filet carré ;
- dans le cas de la solution par roulement :
  - le programme est limité aux vis à billes,
  - la caractérisation se limite à l'utilisation des spécifications constructeurs.

<p><b>II.2.5.) Étanchéité et protection mécanique</b></p> <p><b>II.2.5.a) Analyse fonctionnelle</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• définition ;</li> <li>• caractérisation ;</li> <li>• aspect physique : principes et phénomènes mis en œuvre.</li> </ul> <p><b>II.2.5.b) Solutions techniques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• familles de solutions ;</li> <li>• analyse fonctionnelle ;</li> <li>• éléments de choix du principe mis en œuvre ;</li> <li>• principes et dispositions de réalisation dans les différents cas d'application ;</li> <li>• conditions et limites d'application ;</li> <li>• composants du commerce, caractérisation et choix en fonction des conditions d'utilisation ;</li> <li>• solutions techniques et conception des systèmes d'étanchéité limitées aux différents cas d'utilisation, avec et sans contact :             <ul style="list-style-type: none"> <li>- en statique,</li> <li>- en dynamique de rotation ou de translation ;</li> </ul> </li> </ul> <p><b>II.2.5.c) Conception appliquée aux assemblages et des guidages du programme</b></p>	<p>Les familles de solutions sont limitées aux :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• contact direct ;</li> <li>• chicanes, déflecteurs ;</li> <li>• joints statiques ;</li> <li>• joints à lèvres à contact axial et radial ;</li> <li>• joints toriques et quadrilobes ;</li> <li>• garnitures mécaniques rotatives.</li> </ul> <p>Pour les guidages en rotation les solutions sont développées pour des arbres à axe horizontal ou vertical.</p> <p>Les autres types de joints tournants ne sont pas au programme.</p> <p>Les grilles ou guides de choix sont fournis aux étudiants.</p> <p>À partir d'un cahier des charges et du schéma technologique d'une solution, l'étudiant doit être capable de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• choisir les composants et concevoir un dispositif d'étanchéité du programme en utilisant une documentation issue d'un constructeur,</li> <li>• dessiner la solution complète avec les spécifications des conditions fonctionnelles nécessaires.</li> </ul>
<p><b>II.2.6.) Lubrification des organes de machines</b></p> <p><b>II.2.6.a) Analyse fonctionnelle</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• définition ;</li> <li>• analyse fonctionnelle ;</li> <li>• caractérisation ;</li> <li>• aspect physique : propriétés physiques de la fonction :             <ul style="list-style-type: none"> <li>onctuosité ;</li> <li>viscosité.</li> </ul> </li> </ul> <p><b>II.2.6.b) Solutions techniques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• critères de choix pour une lubrification à l'huile ou à la graisse ;</li> <li>• solutions techniques et conception des systèmes de lubrification :             <ul style="list-style-type: none"> <li>- renouvellement de graisse,</li> <li>- barbotage et bain d'huile,</li> <li>- circulation naturelle ;</li> </ul> </li> </ul>	<p>Les caractéristiques fondamentales des fluides de lubrification et leur comportement réel ne sont pas au programme. L'approche de cette fonction est qualitative (réduction des résistances passives et/ou de l'usure, protection, aspect caloporteur).</p>

<p><b>II.2.6.c) Conception</b>          Démarche appliquée à une lubrification onctueuse à l'huile ou à la graisse :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• amenée ;</li> <li>• circulation ;</li> <li>• évacuation.</li> </ul>	<p>À partir d'un cahier des charges et/ou d'une documentation fournie, l'étudiant doit être capable de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• choisir une solution technique du programme ;</li> <li>• définir complètement la solution.</li> </ul>
<p><b>II.3.) Définition des ensembles mécaniques</b></p> <p><b>II.3.1.) Cotation fonctionnelle.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• conditions fonctionnelles d'aptitude à l'emploi ;</li> <li>• cotation des cônes ;</li> <li>• chaînes de cotes linéaires unidirectionnelles suivant l'exigence de l'enveloppe, choix de la répartition des tolérances par la méthode iso-qualité pour les pièces fabriquées.</li> </ul> <p><b>II.3.2.) Éléments du dossier de définition</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• dessin d'ensemble ;</li> <li>• nomenclature ;</li> <li>• dessins de définition des pièces ;</li> <li>• notes de calcul.</li> </ul>	<p>À partir d'un ensemble de pièces assemblées et des caractéristiques de fonctionnement, l'étudiant doit être capable :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• d'identifier et de spécifier les conditions fonctionnelles ;</li> <li>• de tracer sur un dessin d'ensemble partiel, une chaîne de cotes unidirectionnelle, pour une condition donnée ;</li> <li>• de traiter des conditions unilimites et bilimites dans les cas des chaînes indépendantes ;</li> <li>• d'inscrire de manière quantitative la cotation relative aux conditions traitées, sur les dessins de définition des pièces concernées.</li> </ul> <p>À partir d'un dossier technique fourni l'étudiant doit être capable :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• d'identifier les documents ;</li> <li>• d'interpréter une nomenclature ;</li> <li>• de différencier les composants standard et spécifiques fabriqués ;</li> <li>• d'identifier les contraintes d'intégration des composants standard.</li> </ul> <p>Un ensemble peut être défini par un fichier numérique et/ou une liasse de plans.</p> <p>Les définitions et les principes d'élaboration des documents du dossier de définition sont connus. Les applications sont limitées à la réalisation partielle d'éléments du dossier.</p> <p>La rédaction d'une nomenclature n'est pas exigible.</p>
<p><b>II.4.) Approche Produit-Procédé-Matériau</b></p> <p><b>II.4.1.) Conception et fabrication des pièces</b>          Méthodologie de tracé des pièces :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• cahier des charges,</li> <li>• relations pièce-matériau-procédé, critères de choix,</li> <li>• ordre de grandeurs des classes de tolérances dimensionnelles des familles de procédés du programme.</li> </ul>	<p>L'étudiant doit être capable :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• de différencier les surfaces de liaisons des surfaces limites de volume dans différents états de fabrication ;</li> <li>• de définir ces surfaces en fonction des potentialités et/ou contraintes des procédés utilisés ;</li> </ul>

#### II.4.2.) Mise en place d'un processus de fabrication

- identification des différents états de transformation d'une pièce mécanique ;
- ordonnancement des différentes étapes de transformations (les différentes phases), en fonction de l'interaction entre la pièce, le matériau, les procédés et les moyens de production utilisés.

#### II.4.3.) Traitements thermiques des aciers

Principe, phénomènes mis en jeu, matériaux associés et caractéristiques mécaniques modifiées pour :

- les traitements volumiques : trempe, revenu, recuit ;
- les traitements surfaciques : trempe superficielle, cémentation et trempe, nitruration.

- de choisir un matériau à partir de documents ou de bases de données, selon les critères du programme de PTSI (§V.5).

La conception des pièces :

- moulées et usinées, ou obtenues à partir de produits semi-finis concerne les pièces produites en série, en petite série et en fabrication unitaire ;
- mécano-soudées et usinées ne concerne que les pièces produites en fabrication unitaire.

La définition des formes et surfaces des pièces prend en compte les contraintes de réalisation spécifiques aux procédés et processus de fabrication :

- pour les procédés d'usinage (programme de PTSI §V.6.b) ;
- pour les procédés de fonderie (programme de PT §II.8.4) ;
- l'ajout de surfaces fonctionnelles pour assurer la mise et le maintien en position ;
- l'accessibilité des outils et outillages.

Cette partie réalise la synthèse des connaissances, de première et seconde année, relatives aux procédés de fabrication.

Les connaissances du programme de mécanique sont utilisées, sur des cas simples, pour caractériser le comportement des pièces et outillages en phase de mise en œuvre.

La mise en position et le maintien en position sont associés à l'analyse des mécanismes (programme de PT § II-2).

Il s'agit de définir l'ordonnancement des différentes phases. La définition détaillée des phases de fabrication n'est pas au programme.

Les procédés étudiés se limitent aux procédés détaillés dans le programme.

Seule la partie mise en œuvre de ces traitements est abordée, les phénomènes métallurgiques sont exclus.

Seule la description qualitative des états physico-chimiques de base, à partir d'un diagramme fourni, est exigible.

La description détaillée des diagrammes d'équilibre et de l'évolution du comportement mécanique du matériau au cours du processus ne sont pas au programme.

On se limite aux aciers courants et faiblement alliés utilisés en construction mécanique.

**II.4.4.) Obtention des pièces métalliques moulées en moule non permanent, à modèle permanent**

- description du procédé et matériaux associés ;
- phénomènes physiques associés au procédé ;
- contraintes technologiques et économiques ;
- moyens d'obtention des formes (moules, modèles, noyaux) ;
- règles de tracé à respecter pour l'obtention de pièces saines ;
- conception des pièces moulées :
  - cahier des charges,
  - agencement des zones fonctionnelles et des surfaces limites en fonction du cahier des charges,
  - démarche de tracé et adaptation des formes en fonction des sollicitations et de la faisabilité de moulage.

**II.4.5.) Principes de base d'obtention des pièces mécano soudées**

- présentation des techniques de soudage autogène ;
- phénomènes physiques de base ;
- conditions de mise en œuvre et domaines d'applications ;
- règles de tracé à respecter pour assurer la mise en œuvre du procédé pour l'obtention de formes simples.

On se limite :

- à une description qualitative du procédé (fusion, coulabilité, solidification, retrait) ;
- aux contraintes de mise en œuvre ;
- aux caractéristiques des pièces obtenues ;
- aux matériaux courants : fontes, alliages d'aluminium et alliages cuivreux.

À partir d'une pièce moulée et/ou de sa représentation l'étudiant doit être capable :

- d'identifier un plan de joint possible ;
- de décrire les éléments caractéristiques de la pièce (dépouilles, nervures, congés, bossages, parois, défauts) ;
- de proposer les aménagements éventuels conduisant à des simplifications de la réalisation de la pièce.

À partir du cahier des charges d'une solution technique, l'étudiant doit être capable :

- de tracer les formes de la pièce en respectant les règles élémentaires ;
- de tracer des pièces aux épaisseurs minimales ;
- d'élaborer un dessin d'avant projet de la solution en proposant des dispositions de parois et des formes compatibles avec le procédé et le comportement de la pièce durant son cycle de vie.

Les techniques de mise en œuvre des procédés (moule, descente de coulée, chenaux d'alimentation, masselotage, refroidissement) ne font l'objet que d'une description qualitative du principe. Aucun calcul ni aucune description détaillés ne sont exigibles.

On insiste sur le tracé des pièces moulées en présentant des études de cas.

La description détaillée des techniques de mise en œuvre des procédés n'est pas exigible.

L'étudiant doit être capable, à partir :

- du dessin de définition de produit d'une pièce soudée comportant des surfaces usinées de proposer des aménagements simplifiant les usinages ;
- d'un cahier des charges de concevoir des pièces mécano-soudées simples obtenues par l'assemblage d'éléments standard (plaques, barres, profilés).

Seule l'étude qualitative des conséquences du procédé de soudage sur la géométrie de la pièce est exigible.

La conception de pièces de formes complexes n'est pas au programme.

### II.4.6.) Mesure et contrôle dimensionnels et géométriques des pièces

#### II.4.6.a) Caractérisation des instruments de mesure

Définition de la justesse, de la répétabilité et de la résolution.

#### II.4.6.b) Outils mathématiques et méthodes

- torseur des petits déplacements ;
- filtrage ;
- méthode des moindres carrés.

#### II.4.6.c) Mise en oeuvre

- métrologie générale :
  - modes de contrôle associés aux spécifications de cotation,
  - ordre des écarts à mesurer,
  - choix des moyens de mesurage associés ;
- macro-géométrie, méthodes de mesurage :
  - directe, par comparaison,
  - métrologie tridimensionnelle, nuages de points ;
- traitement des résultats :
  - définition des références réelles, simulées, spécifiées et associées,
  - dimensions intrinsèques,
  - situations relatives entre éléments, validation des spécifications ;
- micro-géométrie des surfaces :
  - principe de la mesure des profils,
  - principaux critères de rugosité et d'ondulation.

Pour une pièce donnée, accompagnée de son dessin de définition et de la procédure ou des résultats de mesure, l'étudiant doit être capable d'analyser la nature des différents défauts et de valider une spécification portée sur le dessin.

La procédure de mesure est fournie. L'étudiant est sensibilisé à la différence entre éléments spécifiés et surfaces fabriquées. Il ne s'agit pas de développer des savoir-faire professionnels.

Le cours fait référence aux normes ISO et est abordé en parallèle avec le cours de cotation fonctionnelle.

Les techniques et moyens de mesure dimensionnelle (macro et micro) font appel aux concepts définis dans la norme GPS.

La métrologie tridimensionnelle se limite aux géométries suivantes : sphère, plan, cercle et droite, cylindre de révolution. Les calculs numériques sont développés à l'aide d'un solveur ou d'un logiciel spécifique.

À partir des spécifications dimensionnelles et géométriques, il s'agit de définir les méthodes de mesure et de mesurer des caractéristiques.

L'extraction des critères de rugosité à partir d'un relevé utilise les notions de filtrage du programme de physique.

Dans le cadre des travaux pratiques l'analyse des défauts constatés, permet de mettre en évidence l'influence du procédé sur la qualité de la surface obtenue. Les mesures sont appliquées aux pièces mécaniques industrielles.

L'identification des erreurs, des incertitudes des instruments de mesure et des méthodes utilisées ne sont pas exigibles.

## III.) CONCEPTION ET COMPORTEMENT DES SYSTÈMES

### III.1.) Fonctions et solutions techniques associées

#### III.1.1.) Chaîne d'énergie

- fonctions : « alimenter », « distribuer » et « convertir » ;
- principes de fonctionnement et caractéristiques principales (nominales, maximales et intrinsèques).

Pour les solutions techniques relatives aux :

- préactionneurs : contacteur, relais, variateur électrique, servo-distributeur ;
- actionneurs : moteur et vérin (électrique, pneumatique, hydraulique).

L'enseignement de ce chapitre s'articule avec le cours de sciences physiques. Les principes physiques nécessaires au paragraphe III.1., s'appuient sur les connaissances acquises en sciences physiques.

L'étude des solutions techniques relatives à la fonction technique "alimenter en énergie" ne fait pas l'objet de développement particulier.

Les modèles relatifs au comportement des solutions techniques retenues dans ce programme sont fournis aux étudiants sous forme littéraire.

L'étudiant doit être capable d'extraire de la documentation fournie les valeurs numériques caractéristiques des solutions techniques retenues.

### III.1.2.) Chaîne d'information

#### III.1.2.a) Fonction « acquérir »

- principes physiques
- caractéristiques d'entrée (grandeur à mesurer dans son milieu) et de sortie (donnée fournie).
- caractéristiques métrologiques (étendues de mesure, sensibilité, résolution et répétabilité)
- temps de réponse
- contraintes de montage et de réglage

Pour les solutions techniques relatives aux :

- position, déplacement, vitesse et accélération ;
- efforts et pressions ;
- débits et températures.

#### III.1.2.b) Fonction « traiter »

- architecture matérielle (unité centrale, entrées-sorties, mémoire)
- caractéristiques des entrées et des sorties

Pour les solutions techniques relatives aux systèmes de traitement à base d'automates programmables et de microcontrôleurs.

#### III.1.2.c) Fonction « communiquer »

- architecture matérielle ;
- les modes de transmission (série et parallèle) ;
- notion de service ;
- adressage logique et matériel ;
- notion de protocole.

Pour les solutions techniques relatives aux réseaux locaux industriels et bus de terrain.

L'étudiant doit être capable :

- renseigner les critères de choix fournis en phase de conception partielle d'une chaîne d'énergie,
- effectuer des mesures permettant d'évaluer l'écart entre le modèle d'une solution technique donnée et le comportement réel observé.

Les principes physiques utilisés s'appuient sur les connaissances acquises dans le cours de sciences physiques.

L'étudiant doit être capable :

- d'extraire de la documentation fournie les valeurs caractéristiques des solutions techniques retenues,
- de renseigner les critères de choix retenus en phase de conception partielle d'une chaîne d'information,
- de choisir une partie des constituants d'une chaîne d'information respectant un cahier des charges fourni,
- d'implanter en phase d'étude (schémas et/ou dessins) et en travaux pratiques les constituants d'une chaîne d'information en s'assurant de la compatibilité des signaux électriques : tension, courant et fréquence,
- d'effectuer des mesures de caractéristiques liées au fonctionnement du système après intégration de la chaîne d'acquisition au système. Ces relevés permettent de valider le choix du capteur retenu,
- modifier une spécification comportementale à l'aide d'un éditeur (atelier logiciel, interface de développement rapide) et tester le fonctionnement du système.

Les modèles relatifs au comportement des solutions techniques retenues dans ce programme sont fournis aux étudiants sous forme littérale (exemple : PID numérique).

Aucune exigence quant à l'utilisation d'outil de programmation n'est au programme (utilisation de progiciel en travaux pratiques d'automatique).

### III.2.) Analyse du comportement des systèmes

#### III.2.1.) Systèmes logiques séquentiels et modèle GRAFCET

Mode mémorisé : actions temporisées, mémorisées, impulsionnelles, maintenues, conditionnelles, limitées dans le temps, retardées.

Représentation multigrade, synchronisation.

Structure de la représentation : hiérarchie, forçage de situations, macro représentations.

Les compétences acquises doivent permettre, à partir de la description comportementale d'un système séquentiel selon un point de vue spécifié :

- de réaliser le chronogramme de tout ou partie du cycle de fonctionnement,
- de déterminer le temps de cycle du système ;
- de synchroniser les évolutions de certaines parties du système.
- de modifier le comportement du système en fonction d'un besoin exprimé par le cahier des charges.

Le concept d'encapsulation est présenté à la lecture.

#### III.2.2.) Systèmes continus et invariants

##### III.2.2.a) Approximation linéaire tangente au voisinage d'un point de fonctionnement

Modélisation et fonction de transfert.

Les liens entre les fonctions de transfert et les équations de la dynamique et plus largement les lois de conservation (masse, élasticité, énergie,...) de la physique sont précisées.

L'accent est mis sur les approximations faites, leurs cohérence et domaine de validité par rapport aux objectifs.

La connaissance des transformées de Laplace des fonctions utilisées ne peut être exigée.

##### III.2.2.b) Définition d'un système asservi

Boucle de rétroaction ou «feedback».

On insiste sur le fait qu'un système bouclé n'est pas nécessairement asservi.

##### III.2.2.c) Stabilité

- définition ;
- nature de l'instabilité (apériodique, oscillatoire) ;
- contraintes technologiques engendrées ;
- interprétation dans le plan des pôles ;
- critères de stabilité ;
- critère de ROUTH-HURWITZ et critère du revers ;
- marges de stabilité ;

La définition de la stabilité est faite au sens : entrée bornée / sortie bornée (EB / SB).

L'étude sera limitée aux systèmes ayant un polynôme caractéristique de degré 3.

Pour la stabilité, on se limitera aux critères simples sans démonstration (il peut être montré facilement qu'un système est stable si et seulement si tous les pôles de sa fonction de transfert sont à parties réelles négatives).

L'étude de la stabilité avec le critère de ROUTH-HURWITZ, ne doit pas prendre en compte les multiples cas particuliers.

##### III.2.2.d) Pôles dominants et réduction de l'ordre du modèle.

Les étudiants doivent être capables, à partir des pôles dominants qui déterminent la dynamique asymptotique du système, de réduire l'ordre de la fonction de transfert selon l'objectif visé.

### III.2.3.) Performances et réglages

#### III.2.3.a) Précision d'un système asservi

- définition de la précision en régime permanent ;
- précision en régime permanent pour une entrée en échelon, une entrée en rampe, une entrée en accélération.

#### III.2.3.b) Analyse et amélioration des performances d'un système asservi :

- critères graphiques de stabilité dans les plans de Black, Bode, Nyquist ; marges de stabilité.
- influence et réglage d'une correction proportionnelle, intégrale et à retard de phase, dérivée et à avance de phase ;
- prise en compte d'une perturbation constante ou sinusoïdale.

L'amélioration des performances apportée par la fermeture de la boucle est illustrée.

Il faut attirer l'attention des étudiants sur la nécessité de comparer des grandeurs homogènes, par exemple la nécessité d'adapter la sortie et sa consigne.

Les critères graphiques sont limités au critère du revers.

Le critère de NYQUIST doit être présenté, mais sa maîtrise n'est pas exigée.

À partir d'un système asservi, défini par sa fonction de transfert en boucle ouverte ou par une représentation fonctionnelle ou de structure, les compétences acquises doivent permettre :

- de justifier un modèle simple en reliant les coefficients de la fonction de transfert à certains paramètres physiques du système ;
- d'analyser sa stabilité et sa robustesse (marges de stabilité) ;
- de déterminer la précision en régime permanent ;
- de vérifier la cohérence du modèle choisi avec des résultats d'expérimentation ;
- de mener une démarche de réglage d'un correcteur pour obtenir les performances attendues.

Le réglage complet d'une correction P.I.D. ne peut être exigé.