



# REPERES POUR LA FORMATION

du

## BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR "CONCEPTION DE PRODUITS INDUSTRIELS"

*Document de travail*

*Novembre 2004*

# Sommaire

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Introduction : Les évolutions du BTS CPI.....                                                               | 3  |
| Chapitre 1 : Les enseignements.....                                                                         | 6  |
| 1.1 Français (S1).....                                                                                      | 6  |
| 1.2 Anglais (S2).....                                                                                       | 6  |
| 1.3 Mathématiques (S3) .....                                                                                | 7  |
| 1.4 Physique appliquée (S4) et génie électrotechnique (S5) .....                                            | 7  |
| 1.5 Comportement des systèmes (S6) – Mécanique industrielle .....                                           | 9  |
| 1.6 Construction mécanique et industrialisation des produits (S7, S9 et S8).....                            | 10 |
| Chapitre 2 : Recommandations détaillées relatives aux enseignements professionnels de génie mécanique ..... | 15 |
| 2.1 Méthodologies de spécification géométrique .....                                                        | 15 |
| 2.2 La créativité dans la démarche de conception .....                                                      | 17 |
| 2.3 La chaîne numérique : maquette numérique, prototypage.....                                              | 24 |
| 2.4 Industrialisation des pièces .....                                                                      | 28 |
| 2.5 La mécanique industrielle et la simulation numérique.....                                               | 31 |
| Chapitre 3 : Mise en œuvre des travaux pratiques .....                                                      | 33 |
| 3.1 Objectifs pédagogiques et typologie de travaux pratiques.....                                           | 36 |
| 3.2 Répartitions (années et disciplines).....                                                               | 46 |
| 3.3 Bilan des TP par discipline .....                                                                       | 47 |
| Chapitre 4 : La certification.....                                                                          | 50 |
| 4.1 Recommandations aux auteurs de sujets :<br>épreuve E4 « Motorisation des systèmes » .....               | 50 |
| 4.2 Recommandations aux auteurs de sujets :<br>épreuve E5 « Etude de produits industriels ».....            | 51 |
| 4.3 L'épreuve professionnelle de synthèse : épreuve E6 .....                                                | 53 |
| Chapitre 5 : Lieux d'enseignement et équipements .....                                                      | 64 |
| 5.1 Les lieux d'enseignement .....                                                                          | 64 |
| 5.2 Les équipements recommandés .....                                                                       | 69 |

## Introduction : Les évolutions du BTS CPI

L'évolution de la formation en BTS CPI s'inscrit dans une architecture générale décrite par le schéma ci-dessous. Ce schéma met au cœur de la préoccupation du BTS CPI le réel technologique que les étudiants devront côtoyer :

- dans les activités de travaux pratiques (de construction, d'industrialisation et de motorisation),
- dans un contexte industriel, avec ses contraintes, lors du projet de deuxième année qui se caractérise par l'authenticité des problématiques qu'il aborde.

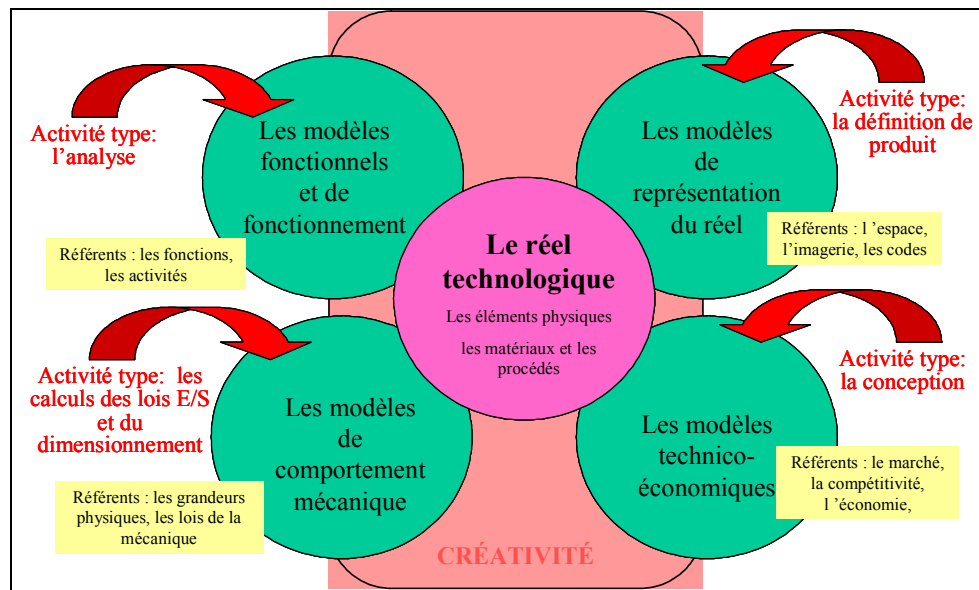


Figure 1

Si les objets d'études restent les systèmes pluri technologiques (à dominante électromécanique) et les produits, l'environnement de formation doit réserver une part à chacune des familles de modèles présentes dans le schéma.

Le fond du schéma symbolise la prégnance des démarches de créativité dont une théorie (TRIZ) apparaît dans le programme de formation comme un élément clé pour le maintien de la compétitivité en conception industrielle.

L'organisation et les enseignements du BTS CPI rénové comportent un certain nombre d'évolutions significatives fondées sur :

- le désir d'adapter les enseignements généraux, en mathématiques, français, anglais, physique appliquée et électrotechnique, aux évolutions techniques constatées du métier de technicien de bureau d'études ;
- la volonté de ne pas surcharger la formation professionnelle avec des compétences qui relèvent d'autres formations, ce qui a entraîné l'abandon de savoirs nouveaux en automatismes, pris en charge dans les entreprises par des spécialistes issus de BTS MAI ou du domaine de l'électrotechnique. La consolidation, dans le cadre des motorisations étudiées, des acquis de la classe de terminale est considérée comme un objectif suffisant ;
- l'obligation d'élargir le champ d'action d'un technicien de bureau d'études au niveau de la pré industrialisation des produits, en augmentant sa capacité à

intégrer les contraintes d'industrialisation et de coût dès le début de la conception et à collaborer avec les spécialistes de l'industrialisation.

Les évolutions significatives du diplôme s'appuient, en réponse à la demande des professionnels, sur trois éléments clés de la compétitivité industrielle :

- l'aptitude à l'analyse technique, à la description et à la modélisation de systèmes techniques, dans une logique d'analyse concurrentielle autant que de conception,
- la capacité à identifier les principes physiques qui régissent les solutions constructives dans une attitude permettant la créativité,
- le renforcement de la capacité de communication en anglais avec la mobilisation des outils actuels de présentation.

Les concepts d'entreprise étendue et d'ingénierie concertée, ou concourante, imposent de bien positionner la situation du BTS CPI dans l'ensemble des tâches industrielles.

Le schéma ci-après (figure 2) montre, par ses jeux de couleurs, les limites mais aussi les liaisons entre conception détaillée – pré industrialisation et industrialisation, seules voies pour une réduction des coûts par anticipation des difficultés de réalisation.

Ces liaisons ne doivent pas amener de confusion avec les BTS de production industrielle, mais installer dans l'esprit des étudiants de BTS CPI l'idée clé que, sans partage des préoccupations et sans écoute des contraintes des différents intervenants dans la réalisation du produit, le concepteur ne peut s'inscrire dans une logique de coût ou de faisabilité garantissant la pérennité de l'entreprise industrielle.

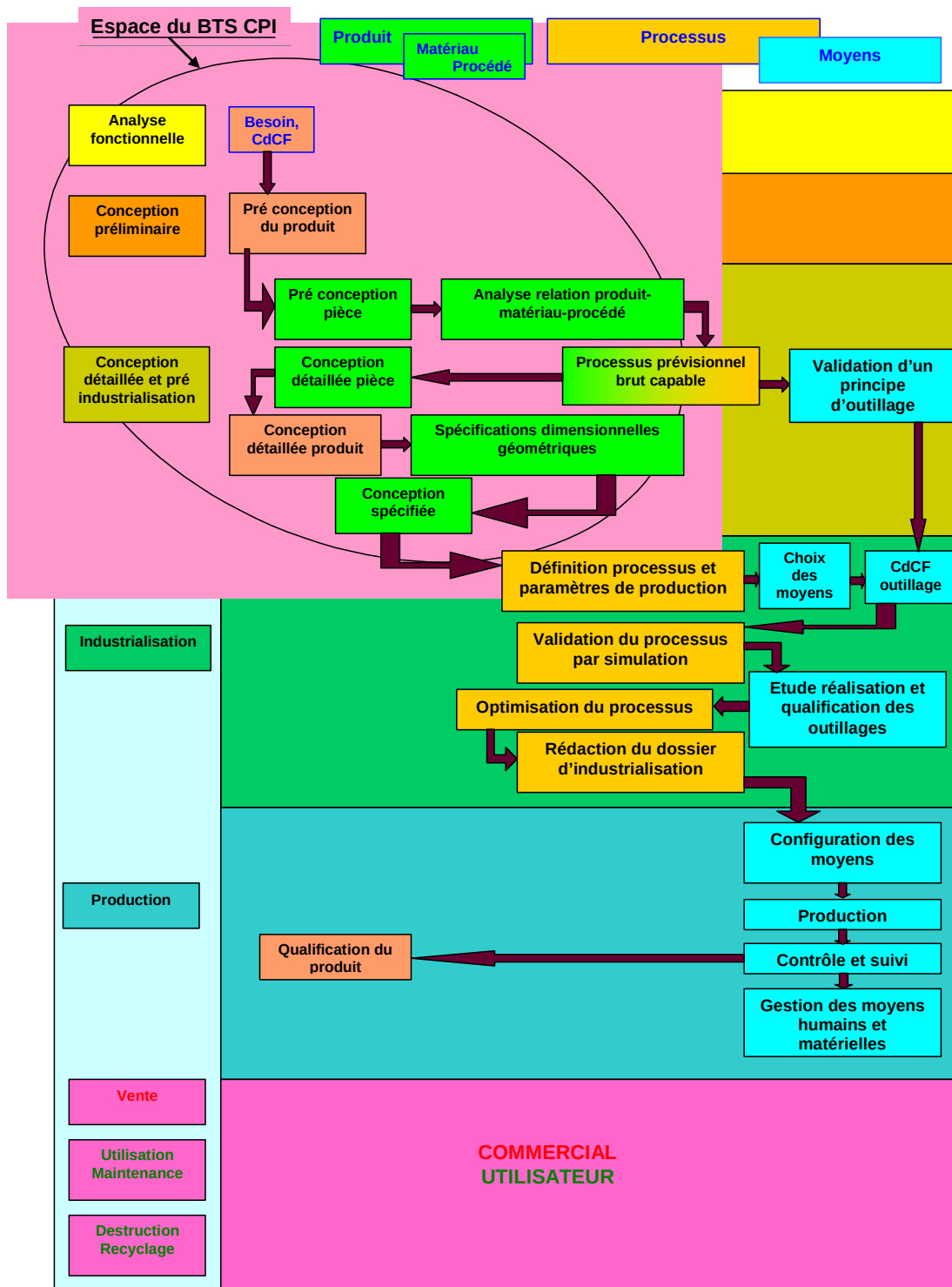


Figure 2

## Chapitre 1 : Les enseignements

Ce chapitre traite des principales évolutions et du sens des enseignements proposés dans le nouveau référentiel.

Ce programme a été élaboré en concertation avec les Inspections Générales de Lettres, Anglais, Mathématiques et Sciences Physiques. Il vise un équilibre entre les bases que tout diplômé à bac +2, du domaine des Sciences et Techniques Industrielles, doit posséder et les concepts et outils que le technicien en Conception de Produits Industriels doit maîtriser.

### 1.1 Français (S1)

Une des évolutions concerne la mise à disposition, auprès du professeur de français en charge de la seconde année de formation, de 36 HSE qui lui permettront d'assurer un enseignement spécifiquement dédié à l'écriture et à la soutenance du rapport de stage industriel.

Le règlement d'examen stipulant que le rapport de stage doit être rendu à la fin du premier trimestre de seconde année, cette phase de formation doit donc se dérouler durant le premier trimestre et peut prendre toute forme compatible avec le quota d'heures allouées.

Le principe retenu est celui de la prise en charge de petits groupes d'étudiants durant quelques heures sur un thème précis :

- pour le rapport : structure et plan, relecture du rapport, mise en forme ;
- pour la soutenance : structure de la présentation orale, structure et réalisation d'une présentation assistée par ordinateur, expression orale...

Dans cette phase de travail, le rôle du professeur de français concerne l'aspect communication du travail attendu. Le suivi du fond technique du rapport est assuré par les professeurs d'enseignement professionnel.

A titre d'exemple pour une division de 24 étudiants que le professeur de français décide de prendre par groupe de 6, cela représente un potentiel de 6 heures de préparation, qui peuvent être réparties en plusieurs séances (3 fois 2 heures ou 2 fois 3 heures par exemple).

Ces heures pourront être ajoutées à l'emploi du temps des étudiants selon des modalités négociées avec l'administration et le professeur ou, à défaut, être prélevées sur l'horaire de projet de seconde année. Dans ce cas, l'enseignement de projet est diminué de 6 heures pour chaque élève sur une année scolaire, ce qui est acceptable compte tenu des enjeux.

Si cette dernière solution est retenue, l'administration de l'établissement doit prévoir un emploi du temps adapté pour le professeur de français afin qu'il soit disponible durant la journée de projet des étudiants.

Il faut noter que les professeurs de français pourront avantageusement s'aider de la norme internationale ISO 5966 portant sur la documentation et la présentation des rapports scientifiques.

Si cette norme propose un cadre qui peut sembler rigide, elle présente l'avantage de fournir à des étudiants habitués aux contraintes normatives, une démarche qui peut être à la base d'une bonne structuration de leur rapport.

### 1.2 Anglais (S2)

La pratique de l'anglais dans des situations professionnelles est une exigence de plus en plus affirmée en entreprise.

Comme cela est précisé dans les objectifs du programme, cet enseignement vise essentiellement à renforcer la capacité des étudiants à parler, lire et comprendre la langue anglaise dans une situation quotidienne et professionnelle.

Dans ce cadre, la référence à une évaluation type « TOEIC » est envisageable. Compte tenu de ses contraintes, elle ne peut être une exigence pour la certification, mais on ne voit que des avantages à ce que la proposition soit faite aux étudiants.

### **1.3 Mathématiques (S3)**

Le programme de mathématiques évolue de façon importante en se recentrant sur les besoins actuels relatifs à la conception de produits industriels : ainsi les méthodes statistiques intervenant pour contrôler la qualité d'une fabrication ont été remplacées par un développement de la partie concernant la définition géométrique des produits à l'aide de logiciels de CAO. Il s'agit de permettre aux étudiants de disposer d'un temps suffisant d'une part pour découvrir les premiers éléments de la modélisation géométrique et les mettre en œuvre dans des situations simples et, d'autre part, pour acquérir une bonne familiarisation avec les configurations géométriques les plus usuelles dans le domaine industriel. Un objectif important est aussi, par la pratique de l'analyse de figures et de la démarche algorithmique pour la conception de surfaces et de volumes, de faciliter l'adaptation des étudiants à l'évolution des logiciels dans ce domaine.

### **1.4 Physique appliquée (S4) et génie électrotechnique (S5)**

L'association physique appliquée et automatismes industriels évolue avec cette rénovation du diplôme vers une collaboration entre physique appliquée et électrotechnique pour traiter des problèmes de motorisation électrique. En effet, les industriels qui conçoivent des produits intégrant une automatisation font appel à des techniciens spécialisés dans ce domaine. Ce spécialiste n'est pas le technicien en CPI.

La grande majorité des étudiants de STS CPI a suivi, dans les classes de pré baccalauréat, un enseignement d'automatisme et d'informatique industrielle qui lui assure les bases des connaissances et le vocabulaire technique relatifs à l'automatisation des systèmes.

Cette culture de base doit permettre de dialoguer avec les spécialistes et de travailler en étroite collaboration avec eux. Lorsque des systèmes exigent un travail approfondi en automatique, les compétences nécessaires seront recherchées auprès d'un ingénieur ou d'un technicien supérieur spécialisé dans ce domaine.

A l'inverse, il est apparu important d' étoffer les compétences professionnelles des étudiants de STS CPI dans le domaine de la motorisation électrique des systèmes. Les possibilités techniques des moteurs électriques évoluent rapidement et leur association avec des commandes performantes multiplie leurs situations d'emploi.

De façon à intégrer ces technologies très tôt dans la conception d'un produit, le technicien de conception doit en connaître les possibilités techniques ainsi que :

- les effets et les risques de l'énergie électrique,
- les lois et performances des différents types de commandes possibles,
- les logiques de choix d'actionneurs et de capteurs.

Il ne s'agit pas, ici, de connaître finement le fonctionnement et le réglage interne des machines tournantes, mais d'apprécier leurs possibilités techniques et économiques ainsi que leurs contraintes d'intégration.

Si l'on considère l'architecture fonctionnelle générique ci-après (figure 3), représentant une chaîne d'énergie et une chaîne d'information d'un produit pluri technique

quelconque, on peut y situer le champ d'activité du TS CPI. Il doit identifier les diverses grandeurs physiques entrantes et sortantes de chaque fonction générique.

En relation avec le programme de "Comportement des systèmes techniques" (S6), il doit prendre en compte les cas où la charge est résistante ou motrice et intégrer le concept de chaîne directe et de chaîne inverse de l'énergie.

De même, lorsqu'un capteur est inclus dans le produit étudié, le TS CPI doit comprendre le principe et les conditions d'acquisition de la grandeur physique mesurée et s'intéresser, même succinctement, au mode de transduction vers le système de traitement.

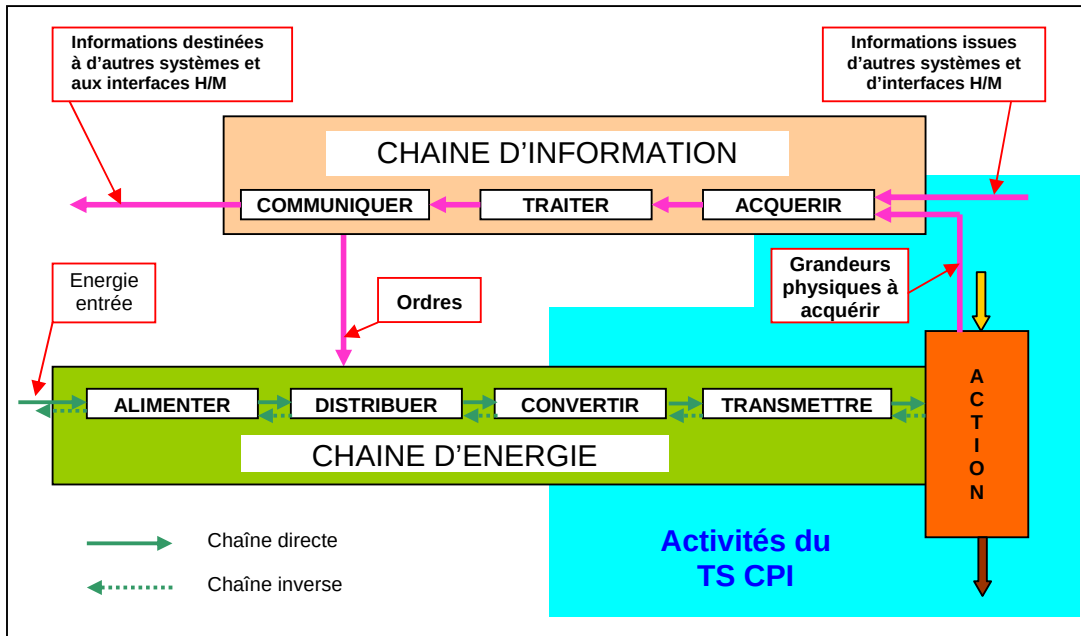


Figure 3 : architecture fonctionnelle générique des produits pluri techniques

Le nouveau référentiel propose un enseignement alliant, d'une part, des connaissances touchant au fonctionnement des capteurs, des moteurs et de leur commande et, d'autre part, un ensemble de connaissances relatives aux motorisations utilisées dans les systèmes techniques.

Ces compétences seront acquises par l'observation et l'étude des systèmes réels présents, par exemple, dans les zones de systèmes des laboratoires de génie électrotechnique.

L'enseignement S4 de Physique appliquée s'intéresse :

- aux lois physiques qui justifient les comportements des convertisseurs d'énergie et de leur commande,
- aux principes et aux modes de transduction des principaux types de capteurs.

L'enseignement S5 d'Electrotechnique s'attache, pour sa part :

- à faire découvrir les contraintes induites par l'énergie électrique,
- à intégrer les caractéristiques déterminantes pour effectuer des choix de solutions de motorisation classiques,



- à apprécier, par des activités de TP, dans quelle mesure ces solutions sont compatibles et homogènes avec la chaîne d'énergie ou la chaîne d'information imposée par le cahier des charges.

Ces enseignements, sont dispensés de façon complémentaire par les professeurs de physique appliquée et de génie électrotechnique et doivent être coordonnés de manière à mobiliser de façon simultanée les compétences des deux champs.

Pour garantir cette cohérence, l'épreuve écrite d'examen est unique et commune aux deux enseignements.

Dans cette même logique, il est intéressant qu'une étroite collaboration s'installe entre les enseignants de comportement et construction des systèmes techniques et les enseignants de physique appliquée et de génie électrotechnique. Cette collaboration peut s'organiser en première année à partir des travaux pratiques menés dans l'atelier des systèmes de génie électrotechnique et, en seconde année, sur les thèmes industriels de l'épreuve professionnelle de synthèse.

### **1.5 Comportement des systèmes (S6) – Mécanique industrielle**

Cet enseignement exploite largement les possibilités offertes par les outils CAO. Une place importante est faite aux hypothèses permettant de choisir un modèle de traitement ainsi qu'à l'analyse des résultats d'un calcul ou d'une simulation.

Les grands chapitres du programme sont:

- la modélisation des systèmes et des actions mécaniques,
- la cinématique visant à étudier les lois entrée-sortie d'un mécanisme,
- la statique, la résistance des matériaux pour répondre à des problèmes de pré dimensionnement,
- l'élasticité pour valider ou faire évoluer une géométrie au regard des conditions de chargement,
- quelques éléments de mécanique des fluides pour appréhender leur comportement.
- la dynamique et l'énergétique pour comprendre certains comportements des mécanismes en fonctionnement et effectuer des choix de motorisation et de contrôle en liaison avec l'enseignement d'Electrotechnique et de Physique appliquée.

On trouve ci-après quelques précisions utiles à l'enseignement du chapitre S6 :

#### **Associations de pièces et de liaisons (S 623)**

Il est demandé aux étudiants de formuler les hypothèses sur le modèle hyperstatique afin de le transformer en modèle isostatique utilisable en CAO.

#### **Résolution d'un problème de statique (S 632)**

Seuls les équilibres simples seront résolus analytiquement.

Afin de comprendre la notion d'équilibre statique il est possible d'utiliser les méthodes graphiques de résolution (limitées à des cas simples de 3 à 4 actions mécaniques).

Les outils numériques seront privilégiés pour la résolution des équilibres.

#### **Principe fondamental de la dynamique (S 652)**

L'équilibrage dynamique sera traité dans le cadre de masses quasi ponctuelles. Il permet de mettre en évidence les effets d'un déséquilibre sur les actions mécaniques dans les liaisons.

### Résistance des matériaux (S 661)

Afin de comprendre le comportement d'une poutre sous charge il est conseillé d'exploiter un travail pratique (utilisant un système didactisé par exemple) permettant de visualiser, de manière amplifiée, les déformations en fonction des contraintes.

La flexion déviée sera limitée au cas des poutres à section droite rectangulaire, chargées dans les deux plans de symétrie.

Les critères de Tresca et de Von Mises seront abordés sous leur écriture simplifiée de la sollicitation composée : flexion torsion. L'étude du cercle de Mohr ne figure plus au programme.

La notion de flambement sera uniquement abordée dans le cas de la détermination d'un vérin (S742), en s'appuyant sur la démarche proposée par le constructeur.

### Elasticité (S 662)

La définition et la construction des éléments ne sont pas demandées (approche mathématique du maillage). Il s'agit de connaître les divers types d'éléments utilisés par les logiciels avec leurs avantages et leurs inconvénients.

Sur la dimension des éléments, il est demandé de reconnaître les zones où la densité du maillage doit être plus importante.

## 1.6 Construction mécanique et industrialisation des produits (S7, S9 et S8)

### Construction des systèmes techniques (S7) :

Ces enseignements doivent permettre aux étudiants d'utiliser les outils de l'analyse fonctionnelle et d'aborder les solutions constructives des produits.

L'approche fonctionnelle présentée ci-après est décomposée en analyse fonctionnelle externe et en analyse fonctionnelle interne.

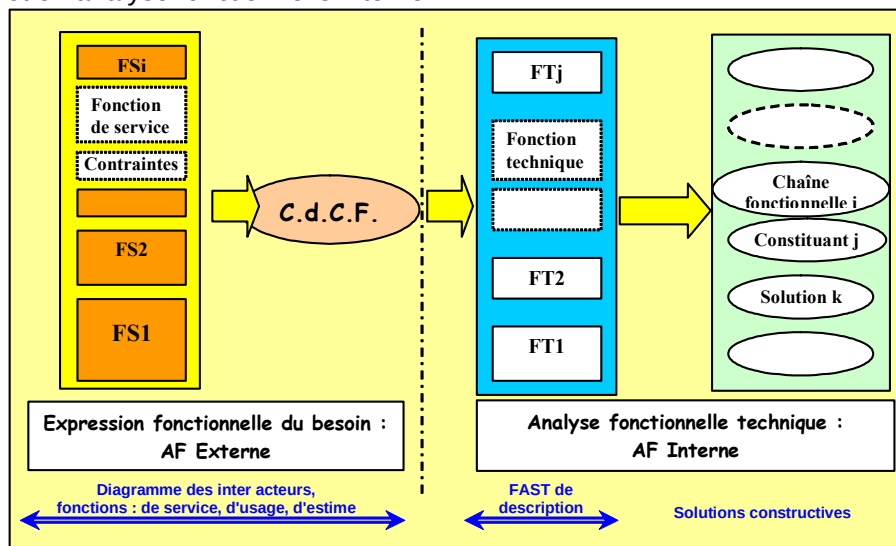


Figure 4

Pour l'analyse fonctionnelle externe, les outils doivent permettre au TS CPI :

- d'exprimer le besoin, c'est-à-dire les attentes du client, assorties de contraintes identifiables ;

- de contribuer à la rédaction du cahier des charges fonctionnel qui spécifie les performances techniques et économiques à atteindre, avec les contraintes environnementales à respecter.

L'analyse fonctionnelle interne privilégie le point de vue du concepteur. L'outil FAST (Fonctional Analysis System Technic) est privilégié pour conduire, à partir du CdCF, une démarche structurée permettant la recherche et la définition des solutions constructives.

Pour l'approche structurelle des principales fonctions techniques rencontrées, il convient de s'appuyer sur les solutions constructives classiques extraites de supports en permanence actualisés et d'en dégager les concepts transversaux qu'il faut prendre en compte dans la résolution d'un nouveau problème. Cet enseignement doit donc éviter de se limiter à la présentation d'un catalogue de solutions.

Afin d'assurer progressivement un lien utile avec les méthodes de créativité (théorie TRIZ par exemple), il est important de mettre en évidence le ou les principes physiques de base qui caractérisent chaque solution étudiée.

Les considérations sur les coûts sont également intégrées en permanence dans les études proposées.

### **Ergonomie et sûreté des produits**

Cette partie du programme est orientée vers les outils et méthodes de conception dans le respect des règles de sécurité et d'environnement. Des exemples ciblés et les activités de projet seront des moyens à privilégier pour assurer cet enseignement.

### **Relation Produit - Matériau – Procédé**

Pour optimiser la relation produit-matériau-procédé-coût d'une pièce et produire un dossier de définition de produit fini, le technicien de conception a besoin de mettre en œuvre des compétences relevant de la fabrication.

Pour proposer les solutions de conception les mieux adaptées sur les plans techniques et économiques, le technicien en conception de produits industriels doit envisager la mise en œuvre de procédés diversifiés et valider la faisabilité de la pièce étudiée ainsi que le coût associé.

Cet apprentissage prend appui sur des connaissances relevant simultanément de la construction et de la fabrication d'un produit industrialisé.

Il est donc nécessaire qu'une coordination s'installe entre professeurs de construction et d'industrialisation.

Pour permettre cette collaboration, il est possible de prévoir des échanges d'heures entre les enseignants des deux disciplines, chacun conservant son volume global d'enseignement.

Compte tenu de son importance, l'approche pédagogique de cet enseignement est développé au chapitre 2.

### **Spécification de produits**

L'une des évolutions du BTS CPI est la volonté de former le plus complètement possible les étudiants aux compétences de cotation et de spécification géométrique et dimensionnelle d'un produit.

Globalement, on peut distinguer trois groupes de compétences associées à cet objectif :

- l'analyse fonctionnelle d'un produit et l'identification des contraintes fonctionnelles et géométriques associées ;

- la détermination des spécifications dimensionnelles et géométriques qui traduit le respect des contraintes fonctionnelles ;
- le codage des spécifications dans un langage normatif et univoque (le codage ISO actuel est la seule proposition existante à ce jour) permettant d'aboutir à des dessins de définition des produits finis (élément contractuel entre un donneur d'ordre et un sous traitant).  
Si cette étape doit être assurée par le professeur de construction, il semble très intéressant de le faire en association directe avec le professeur d'industrialisation chargé de l'approche métrologique. En effet, le décodage et le codage d'une spécification en langage ISO deviennent plus perceptibles lorsqu'ils sont menés de pair avec le contrôle. Cet enseignement doit être privilégié sous forme de travaux pratiques supportés par des moyens classiques de métrologie (marbre et instruments de mesurage classiques) ainsi que sur machine à mesurer tridimensionnelle.

Compte tenu de son importance, l'approche pédagogique de cet enseignement est développée au chapitre 2.

### **Organisation et suivi d'un projet**

Ce chapitre concerne quelques définitions et méthodes relatives à la démarche de projet et au développement de la créativité. Ces savoirs et savoir-faire seront abordés partiellement tout au long de la formation à l'occasion de divers travaux pratiques ou dirigés. Ils trouveront tout leur sens lors de la réalisation du projet en deuxième année de formation.

L'approche de l'enseignement des méthodes de créativité fait l'objet d'un développement particulier dans ce livret.

Quelques précisions :

#### **Analyse fonctionnelle externe (S 711)**

Il est judicieux de préciser l'étape du cycle de vie du produit avant de construire le diagramme des interacteurs selon un point de vue donné (constructeur, utilisateur...).

#### **Etude des composants mécaniques de transmission (S 73)**

Il est préférable d'exprimer les principes de solutions plutôt que de rechercher l'exhaustivité des solutions technologiques.

#### **Transmissions sans transformation de mouvement (S 731)**

L'étude de la géométrie des engrenages se limitera aux notions de conduite et d'interférences. Il n'est pas demandé de savoir calculer un déport de denture.

Seules les solutions classiques de réducteurs seront abordées.

#### **Règles générales d'ergonomie des produits et systèmes (S 751)**

Il s'agit de faire émerger les contraintes imposées par la valeur d'estime de certains produits et d'amener le TS CPI à dialoguer avec un responsable de design.

#### **Représentation d'un produit technique (S9)**

La schématisation est un moyen de communication technique que le TS CPI doit utiliser avec pertinence:

- en phase de recherche de solutions sous forme de schéma de principe, souvent apparenté à un croquis non normalisé, mais légendé et proportionné ;

- en phase de dimensionnement ou de simulation du fonctionnement sous forme d'un schéma normalisé associé à une modélisation de plus en plus élaborée à l'aide du modèleur 3D;
- en phase de développement en ingénierie concourante ou collaborative, sous forme de schéma cinématique (pour la définition, par une représentation normalisée, des liaisons minimales illustrant les mobilités), d'architecture (pour la description normalisée de l'ensemble des liaisons), technologique (pour une description sans code normalisé de l'agencement des principaux composants d'un produit ou d'un système), de graphe de fonctions...

### **La représentation 3D**

Les modèleurs volumiques constituent la base de travail pour la représentation du réel, la communication technique, les calculs, la simulation et la fabrication.

Il faut donc amener les étudiants à utiliser les modèleurs volumiques pour en comprendre leurs concepts et en maîtriser leurs fonctionnalités. Ainsi, le référentiel prévoit que les savoirs et savoir-faire associés aux modèleurs 3D sont exigés au niveau 4 de maîtrise parce qu'il s'agit du cœur du métier de technicien en conception de produits industriels.

Ces divers aspects, très significatifs de l'évolution du diplôme, sont développés par ailleurs.

### **Industrialisation des produits (S 8)**

Cet enseignement propose des définitions relatives à l'entreprise industrielle : son organisation, son système de production et la réglementation du travail.

Une autre partie de l'enseignement conduit à positionner le produit dans son système de production et à faire émerger le concept de "chaîne numérique". Ce concept est développé par ailleurs dans un paragraphe spécifique.

L'essentiel des savoirs et savoir-faire est centré sur la connaissance des procédés afin de permettre aux étudiants d'améliorer l'adéquation entre le produit et le couple matériau/procédé afin de réaliser une définition cohérente.

Cet enseignement est conduit en concertation avec l'enseignement de construction comme le montre le synoptique ci-après (figure 5).

Les étapes de la conception du produit : du cahier des charges au dessin de définition

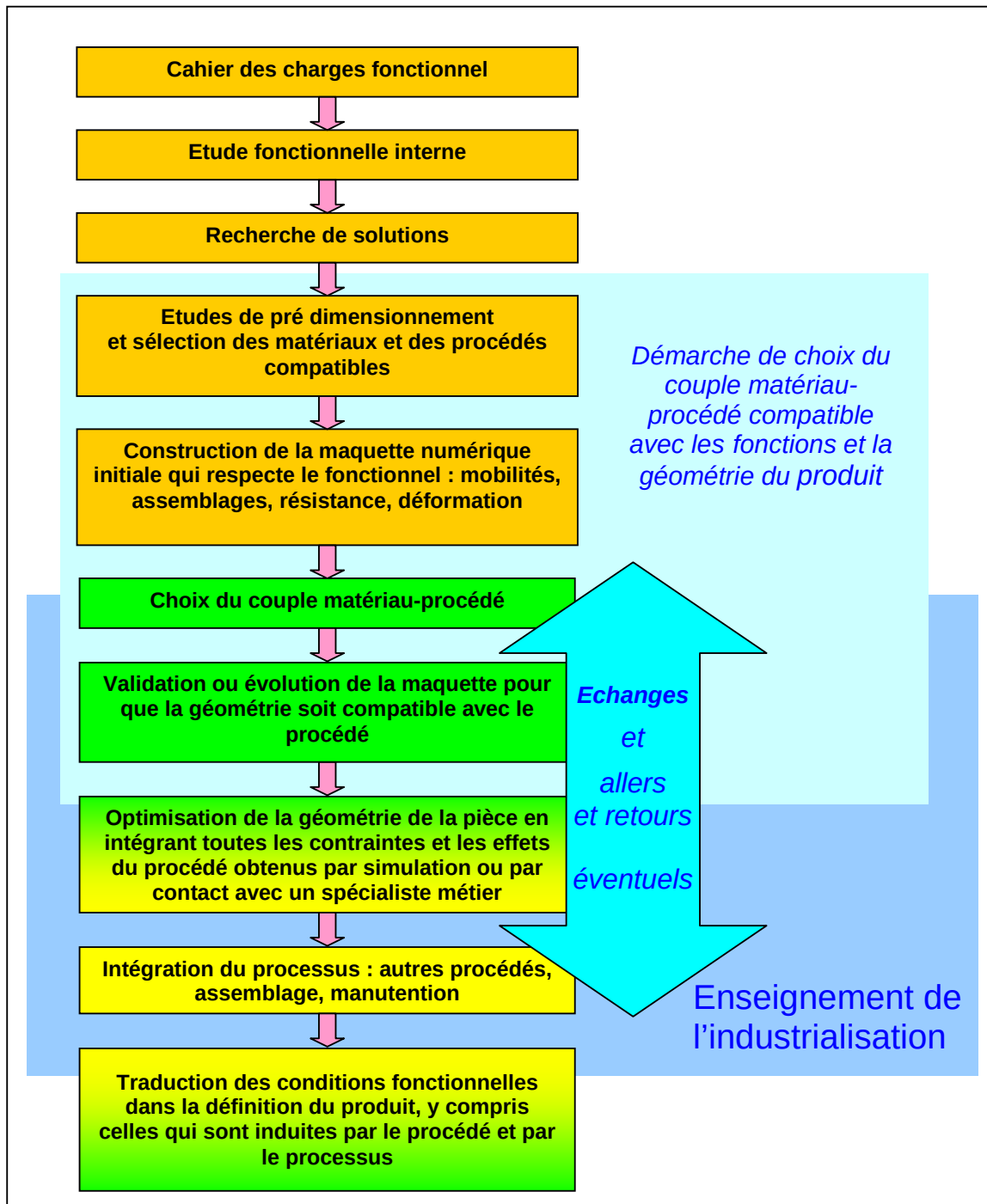


Figure 5

## **Chapitre 2 : Recommandations détaillées relatives aux enseignements professionnels de génie mécanique**

### **2.1 Méthodologies de spécification géométrique**

La cotation des produits est une compétence fondamentale du technicien supérieur CPI. Le nouveau référentiel renforce sensiblement cette compétence. Pour l'atteindre, le technicien supérieur CPI doit savoir analyser fonctionnellement un produit et en déduire la totalité des dimensions, spécifications et tolérances de toutes les pièces du produit.

Cela exige :

- une démarche structurée,
- la connaissance des normes associées à la spécification des produits,
- la compréhension de concepts fondamentaux de cotation.

En conséquence, il s'agit de développer largement cette partie de la formation par la présentation de quelques étapes clés de la démarche :

#### **L'analyse de mécanisme :**

- Inventaire des fonctions techniques élémentaires auxquelles participe une pièce donnée, par exemple par utilisation du FAST de conception.
- Identification des conditions fonctionnelles à satisfaire: conditions d'assemblage, de guidage, d'encombrement, de transmission de mouvement, de résistance...
- Repérage des surfaces qui participent à la réalisation directe ou indirecte des contraintes fonctionnelles.
- Hiérarchisation de ces surfaces pour le groupe fonctionnel considéré, en distinguant les surfaces influentes, celles qui assurent la mise en position de la pièce pour la fonction technique considérée.
- Repérage parmi ces surfaces influentes, de celles qui sont déterminantes du fait de leurs interactions avec d'autres contraintes fonctionnelles ; elles pourront servir de point de départ à la cotation.

#### **La détermination qualitative des spécifications**

- Matérialisation, en exploitant les parties utiles du graphe des contacts, des chaînes de côtes ou des circuits de pièces spatiaux afin de déduire les spécifications dimensionnelles et géométriques.
- Détermination des spécifications les plus évidentes par simple analyse des formes et positions des surfaces influentes.

#### **La transcription des spécifications**

- Traduction des conditions fonctionnelles en spécifications dimensionnelles et géométriques écrites en langage ISO, cohérent et univoque. Il convient d'insister sur la nécessité de respecter strictement les normes dans cette étape de la cotation des pièces. Afin de valider les codes utilisés, il semble pertinent de faire procéder au décodage verbalisé des référentiels et spécifications mis en place et d'exiger l'analyse du contrôle métrologique qui en découle.

### La détermination quantitative des spécifications

- Attribution aux conditions fonctionnelles des valeurs, unilimites ou bilimites, point de départ de la quantification des spécifications.
- Traduction du plus grand nombre des conditions en chaînes de spécifications tridimensionnelles (rendues courtes par conception) conduisant à un tolérancement géométrique avec, en tant que de besoin, simulation informatique.
- Traduction en dimensions des ajustements.
- Tracé et calcul des chaînes de cotes correspondant aux conditions non traitées. Dans ce dernier cas les calculs des valeurs et tolérances devront prendre en compte les dimensions imposées des pièces standard. Ensuite, la distribution de l'intervalle de tolérance du jeu entre les pièces influentes dépend des procédés de réalisation de chaque pièce et constitue un enjeu économique important.

#### Remarques :

- Pour les calculs relatifs aux valeurs des tolérances géométriques dans les assemblages, il est recommandé de privilégier la cotation au maxi matière pour garantir la montabilité
- D'une manière générale, toute valeur ou tolérance calculée doit être validée au regard de la capacité du procédé d'obtention de la pièce.
- La maîtrise progressive de la cotation doit se construire à partir de la distinction entre les diverses géométries :
  - la géométrie idéale
  - la géométrie spécifiée
  - la géométrie réelle obtenue après fabrication
  - la géométrie issue de la mesure qui est une image de la géométrie réelle

Afin de valider les fonctionnalités, il convient de s'assurer que la géométrie réelle satisfait la géométrie spécifiée. Cela passe, chez les étudiants, par la compréhension de quelques concepts fondamentaux tels que :

- Le principe de l'indépendance
- L'exigence de l'enveloppe
- Les concepts de maxi matière, de mini matière
- Le concept de matrice GPS

Cette maîtrise attendue doit conduire à la conception et la mise en œuvre de travaux pratiques, organisés en concertation entre l'enseignant de construction et l'enseignant d'industrialisation :

- Découverte des concepts de cotation par des activités spécifiques proposées par des malles pédagogiques adaptées
- Montage, démontage de petits ensembles associés au mesurage des cotes fonctionnelles. Il peut être pertinent d'exploiter des supports nécessitant la mise en œuvre d'un arrache-moyeux, d'une petite presse, d'outillages spéciaux pour le montage de segments ou de joints divers.
- Contrôle, analyse et interprétation de spécifications à l'aide d'une machine à mesurer tridimensionnelle ou de moyens de contrôle traditionnels : distance entre deux surfaces parallèles, planéité, parallélisme, diamètre,



cylindricité, coaxialité, perpendicularité entre deux plans, entre cylindre et plan...localisation.

- Exploitations pertinentes et ciblées de logiciels dédiés à la détermination et au calcul des spécifications.

## **2.2 La créativité dans la démarche de conception**

Les concepteurs créent des produits, les modifient ou les améliorent.

Les propositions de solutions constructives issues des phases de conception préliminaire et détaillée des produits induisent, dès le début du cycle de vie du produit, les niveaux de qualité, de coût, de maintenabilité et de recyclage du produit.

Pour être efficaces et productifs, les concepteurs ont développé des méthodes facilitant :

- l'analyse fonctionnelle d'un produit, destinée à formaliser précisément les besoins et les fonctions à réaliser,
- la créativité technique permettant d'apporter des réponses nouvelles aux besoins,
- les méthodes d'analyse des modes de défaillance, de leur état de criticité, permettant d'améliorer la qualité des produits,
- l'analyse de la valeur, destinée à l'optimisation de leur coût.

Toutes ces méthodes, et leurs traductions formelles, peuvent participer, en tout ou partie, aux phases de conception, d'amélioration ou de modification de produits industriels. Leur maîtrise exige souvent une bonne culture technique et une grande expérience. Lors de la démarche de conception, un choix inadapté de l'une ou l'autre de ces méthodes et l'absence d'une théorie plus globale en créativité, conduisent à une standardisation préjudiciable aux innovations, à l'imagination, aux ruptures conceptuelles qui permettent de trouver et de développer des solutions originales.

La formation des étudiants de BTS CPI à ce domaine est délicate. A leur manque de culture technique et d'expérience s'ajoutent les contraintes d'une formation pré baccalauréat qui aujourd'hui valorise les outils de l'analyse fonctionnelle sans développer d'aptitudes particulières en créativité et innovation.

### **2.2.1 Les outils d'analyse et de créativité dans la démarche de conception.**

On peut présenter la majorité des outils et méthodes d'analyse et de créativité en conception de produits industriels selon la typologie suivante :

Les outils de description fonctionnelle :

- Graphe de produit,
- Diagramme de flux,
- Diagramme des interacteurs (APTE),
- FAST de description,
- Schéma bloc,
- Actigrammes SADT.

Les outils de description de l'évolution temporelle :

- Tableaux achroniques,
- Chronogrammes,
- Graphe de Gantt,
- Diagrammes PERT.

Les méthodes et outils d'analyse d'un produit :

- Diagramme de Pareto,
- Diagramme causes- effets,
- Analyse de la valeur,
- AMDEC.

Les méthodes contribuant à la créativité technique :

- Veille technologique,
- Brainstorming ou remue méninges,
- Méthodes des ressemblances, de concassage,
- Matrice des découvertes,
- QFD,
- Méthodologies associées à la théorie TRIZ.

La grande majorité des ces outils est déjà mise en œuvre dans les activités de formation et de projet, à l'exception, aujourd'hui, des méthodologies associées à la théorie TRIZ.

### **2.2.2 Développer la créativité industrielle des étudiants.**

La créativité industrielle permet à un individu ou à un groupe de trouver une ou plusieurs idées neuves et utiles au développement d'un produit. Les aptitudes intrinsèques requises pour trouver des solutions nouvelles sont nombreuses, exigeantes et mal partagées : flexibilité, fluidité et originalité de la pensée, capacité à gérer, rassembler, transférer de multiples idées de même types ou de catégories différentes, caractère novateur, imaginatif mais aussi concret et pratique...

Tout cela peut sembler être en opposition avec la majorité des objectifs de formation scientifique et des pratiques professionnelles, tels que logique, rigueur du raisonnement, évitement de l'erreur, maîtrise de modèles et calculs de pré détermination élaborés. On peut ajouter à cela des peurs et des contraintes fortes, comme l'insécurité de l'inconnu, les délais trop courts pour « essayer autre chose », la peur du travail collectif, les difficultés d'écoute et de compréhension des autres et de ses remises en question.

La méthodologie TRIZ modifie en profondeur cette situation. Elle propose de substituer à des démarches empiriques fortement dépendantes des qualités intrinsèques d'individus et de groupes, une méthode de travail formalisée, fondée sur une théorie régie par des lois et des outils et qui exploite autrement les qualités humaines évoquées précédemment.

Historiquement, cette méthode a été développée par G. S. Altchuller, ingénieur Russe passionné par l'étude du processus mental de résolution de problèmes techniques.

Il pose les premières règles de sa théorie TRIZ en 1946. Des universités de l'Union Soviétique développent cette théorie dans la formation de leurs ingénieurs, de leurs techniciens, voire dans certaines écoles primaires et secondaires.

En 1991, la théorie et les méthodes associées sont exportées aux Etats-Unis, où elles sont proposées par des cabinets conseils, des universités et font l'objet de développements informatiques (logiciel Tech Optimizer, par exemple).

La méthodologie TRIZ est maintenant connue et utilisée en Europe, mais elle n'en est qu'à ses débuts. De grands groupes industriels l'ont testée et ont constaté des

résultats appréciables en terme de création de solutions techniques innovantes et de dépôts de brevets.

Mais cette méthode, si elle est puissante, ne génère pas de solutions toutes faites. Sa mise en œuvre requiert un savoir-faire qui peut, pour un premier niveau de compétence en conception, être acquis en BTS CPI.

L'automatisation de certaines étapes de la théorie, à l'aide de logiciels gérant des bases de données et des moteurs de recherche, ne garantit pas l'accès à une solution acceptable si les concepts clés de la méthode ne sont pas acquis.

### **2.2.3 Les fondements de la théorie TRIZ**

Dans ses recherches, G. S. Altshuller s'est intéressé aux quatre éléments suivants :

- L'analyse des brevets déposés au niveau mondial. Actuellement plus de deux millions et demi de brevets ont été analysés, répertoriés et classés selon des critères propres à la théorie TRIZ, sans que les lois et les règles formalisées il y a cinquante ans n'aient été prises en défaut. Sa démarche repose sur l'identification des points suivants :
  - Les « substances » traitées par le brevet ;
  - Les liens entre les substances ;
  - Les configurations du système avant le brevet ;
  - Le niveau d'inventivité ;
  - Les conflits résolus par le brevet.
- L'analyse des comportements psychologiques des « inventeurs ». Les manières de travailler des inventeurs sont multiples : jeux d'essais et erreurs, hasard, analogie, intuition, transfert de connaissance...
- L'analyse des outils et des méthodes existantes : L'analyse fonctionnelle, les AMDEC, le brainstorming sont des outils connus, efficaces dans une logique d'analyse et de description. G. S. Altschuller ne rejette pas ces outils. Au contraire, il en intègre certains dans sa théorie.
- La veille scientifique et technologique : Les publications spécialisées technologiques et scientifiques contiennent un grand nombre d'informations sur les modes de résolution des problèmes industriels. Altschuller a mis au point une base de données permettant de classer les « manières de faire » relevées dans la littérature, capitalisant les solutions les plus simples et complètement connues, et celles très sophistiquées, mettant en œuvre des recherches scientifiques de haut niveau. C'est à ce niveau que l'informatisation apporte la plus grande aide aux concepteurs en mettant à leur disposition sur des sites Internet des bases de données classant des principes fondamentaux, des effets physiques, chimiques, géométriques et les solutions techniques et scientifiques associées.

### **2.2.4 Les bases de la théorie**

Le succès des démarches classiques et intuitives de créativité est affaire de temps et de financement. La mise en œuvre de ces démarches conduit à l'exploration systématique (études, essais, expérimentations) de vastes champs de solutions, et le choix des directions de travail relève alors de l'intuition d'un directeur de projet. Cela impose d'organiser de longues séances de brainstorming rassemblant des techniciens inventifs, compétents et représentatifs de différents domaines.

A contrario, comme l'illustre très schématiquement la figure ci-après (figure6), la méthodologie TRIZ se propose de canaliser ces recherches en guidant

progressivement les techniciens dans des directions privilégiées à l'aide d'un ensemble d'outils formalisés.

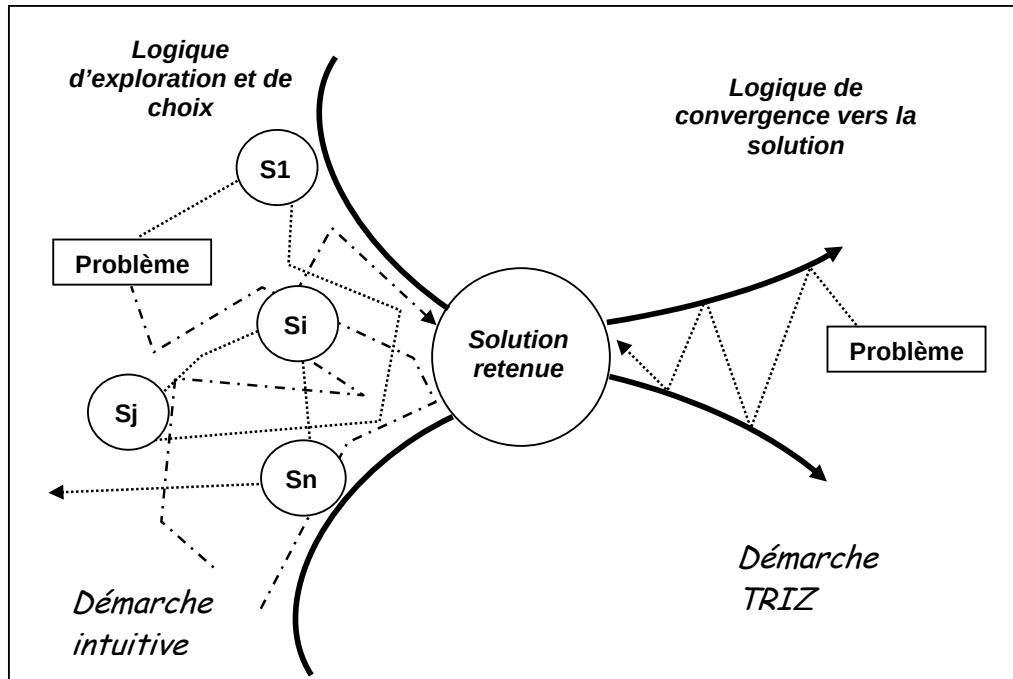


Figure 6

La méthodologie TRIZ s'intègre bien dans les démarches de conception globales en vigueur actuellement, comme on peut le voir dans l'organigramme simplifié ci-joint.

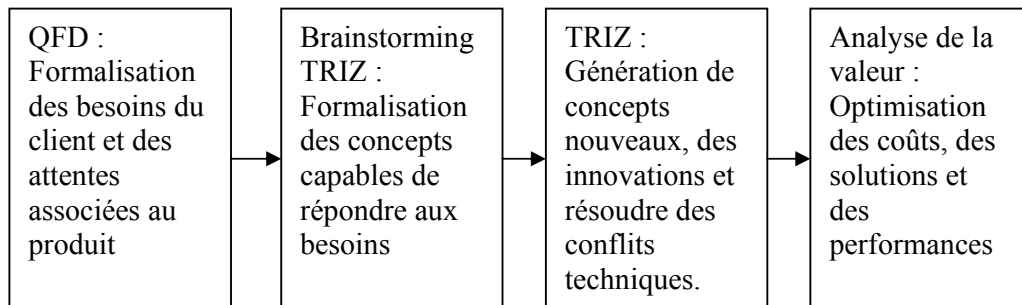


Figure 7

### 2.2.5 Les concepts de la méthode TRIZ

Sans entrer dans des détails dont la maîtrise exige une formation, on peut présenter ici quelques principes fondamentaux de la méthode TRIZ, comme :

#### Le concept de degré d'inventivité

Lors de son analyse des brevets, G. S. Altshuller a pu mettre en évidence 5 niveaux d'inventivité correspondant à des niveaux d'apparition bien distincts ; comme le montre le tableau suivant :

| Niveaux | Degrés d'inventivité            | Répartition | Origine                      |
|---------|---------------------------------|-------------|------------------------------|
| 1       | Solution évidente, standardisée | 32 %        | Un individu                  |
| 2       | Amélioration mineure            | 45 %        | Une entreprise               |
| 3       | Amélioration majeure            | 18 %        | Un domaine industriel        |
| 4       | Nouveau concept                 | 4 %         | Plusieurs domaines connectés |
| 5       | Découverte                      | < 1 %       | Savoirs globalisés           |

### Le concept de contradiction

En conception classique, la gestion des contradictions (physiques, techniques, opérationnelles) amène les techniciens à accepter des compromis constructifs adossés à des champs de contraintes.

La théorie TRIZ s'efforce de traiter ces contradictions en proposant, pour chacune d'entre elles, des principes de solutions.

40 principes identifiés couvrent la totalité des sciences et des technologies, comme, par exemple celui de la "segmentation" (qui consiste à se demander si l'on ne peut pas segmenter un problème), du "changement de dimension", de la "membrane flexible" ou de l'utilisation du "changement de phase".

La théorie identifie 39 paramètres de conception, allant de la masse d'un objet mobile, à la résistance, la température, l'aptitude à la réparation, la complexité et l'adaptabilité. Les problèmes techniques mettent toujours en jeu des contradictions entre ces paramètres de conception qu'il faut tout d'abord identifier.

Pour traiter un problème, la méthode TRIZ propose d'utiliser un outil particulier mettant en relation les paramètres et les principes : la matrice de résolution des conflits.

Cette matrice propose au concepteur une série de principes de solutions identifiées pour résoudre un conflit entre deux paramètres de conception.

| Principe de la matrice des conflits |    |                         | Paramètres de conception                                                                                                                                          |             |    |                  |
|-------------------------------------|----|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----|------------------|
|                                     |    |                         | 1                                                                                                                                                                 | 17          | 39 |                  |
|                                     |    | Poids d'un objet mobile |                                                                                                                                                                   | Température |    | Productivité     |
| Paramètres                          | 1  | Poids d'un objet mobile | Chaque intersection contient les n° des principes pouvant aider à éliminer le conflit.<br>Ex : n° 35 : changer l'état physique d'un objet : solide, liquide, gaz. |             |    | 35 – 3 – 24 – 37 |
|                                     |    |                         |                                                                                                                                                                   |             |    |                  |
|                                     | 17 | Température             |                                                                                                                                                                   |             |    |                  |
|                                     |    |                         |                                                                                                                                                                   |             |    |                  |
|                                     | 39 | Productivité            | 35 – 26 – 24 – 37                                                                                                                                                 |             |    |                  |

Cette démarche, puissante et spectaculaire, exige du technicien qu'il formalise son problème en principes et paramètres, ce qui n'est pas toujours facile.

Pour schématiser la démarche proposée, on peut l'illustrer de la manière suivante :

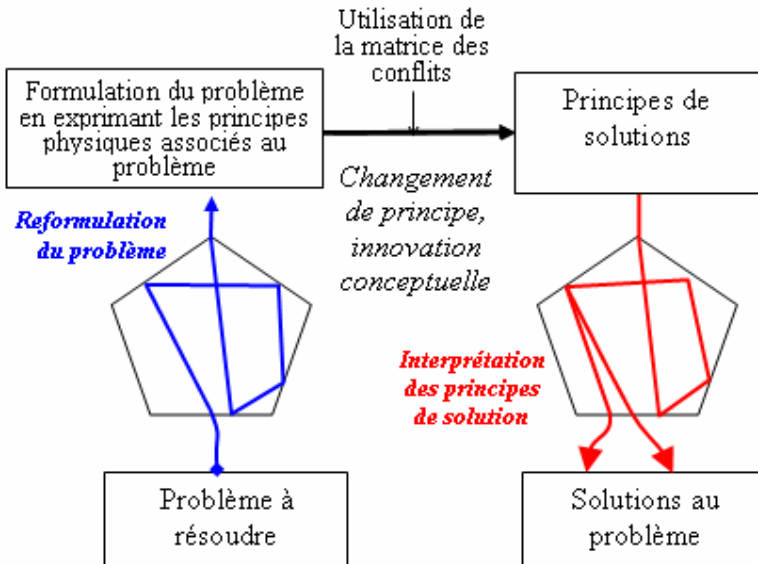


Figure 8

### Concept de lois d'évolution des systèmes

Comme toute théorie, TRIZ a ses lois. G. S. Altshuller en a défini huit, traitant :

- de l'organisation fonctionnelle d'un système (sous ensembles moteurs, de transmission, opératif et de contrôle),
- du flux d'énergie dans un système,
- des rythmes associés à un fonctionnement (fréquences, vibrations, périodicités),
- des lois cinématiques,
- du perfectionnement des systèmes,
- de leur développement et de la transition vers ce qu'il appelle les «super systèmes»,
- de la transition d'un macro niveau vers un micro niveau,
- de l'augmentation de la contrôlabilité.

L'observation des évolutions historiques de familles de produits montre rapidement la validité de ces lois. L'exemple de la colonne de direction, axe rigide aux débuts de l'automobile, ensuite fractionnée en plusieurs éléments articulés pour être remplacée plus tard par un système hydraulique et, bientôt, par une motorisation électrique, découplée du volant, montre bien que les réponses à un besoin évoluent selon des lois formelles stables qui font passer le problème par des étapes ...identifiées par Altshuller.

Il devient évident alors que l'identification de l'étape dans laquelle se situe la solution du moment permet d'envisager ses possibilités d'évolution et que cela va aider le concepteur à libérer son imagination.

## Les outils de la méthode TRIZ

D'autres outils spécifiques sont proposés dans la méthodologie TRIZ, comme :

- La méthode des 9 écrans, qui permet d'identifier les notions de sur-système et de sous-système associés à un système donné et d'envisager son passé, son présent et son futur. Cette démarche place le concepteur dans une logique nouvelle, lui apporte de nouveaux points de vue et libère ses capacités d'innovation.
- Les Vépoles, acronyme traduit du russe des mots «Substances» et «Champ» sont au cœur des travaux d'Altschuller,. Ce concept utilise les interactions entre les champs physiques et techniques existants (pesanteur, électromagnétique, chaleur, etc.) et les «substances» identifiées par TRIZ. Les différents types d'association constituent des «Vépoles» qui permettent de modéliser et de résoudre un problème donné.

## L'algorithme de mise en œuvre de TRIZ

Face à la multiplicité des outils proposés (dont seuls les principaux sont évoqués ci-dessus), est apparu le besoin de trouver une logique opératoire adaptée aux problèmes à résoudre et facilitant l'exploitation de la théorie. C'est la fonction d'ARIZ, algorithme de mise en œuvre de TRIZ qui évolue en permanence.

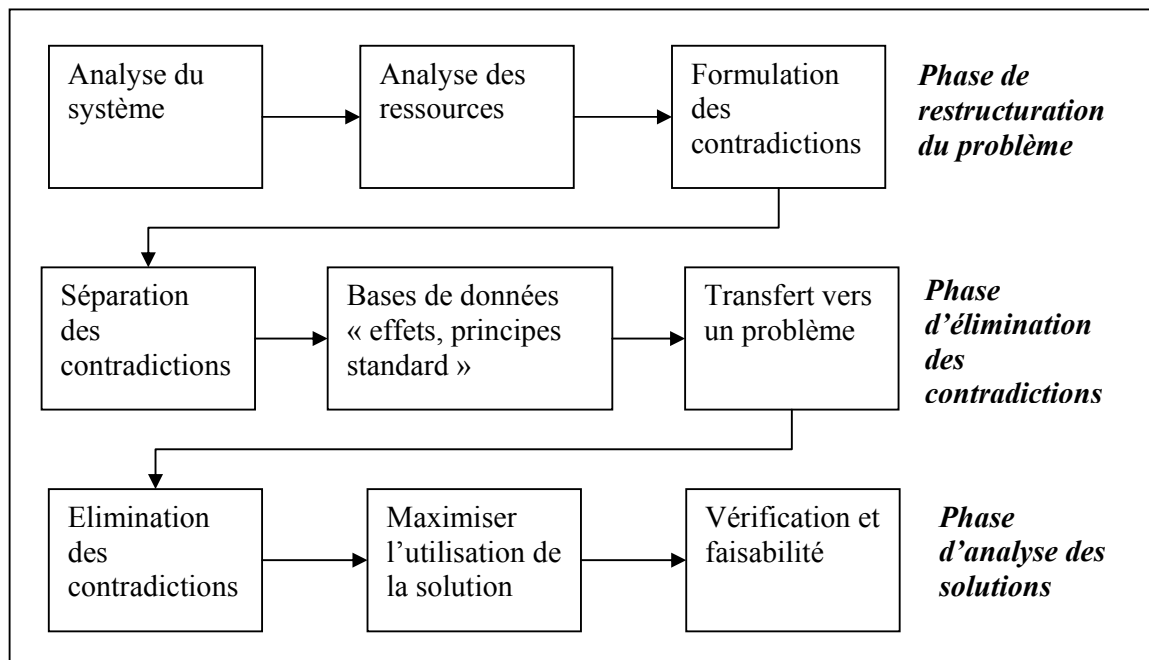


Figure 9

Les outils informatiques existants ne couvrent pas la totalité de la démarche TRIZ et ne traitent que partiellement certaines parties. Il est donc utopique de croire que la mise en place d'un logiciel va permettre aux techniciens de «dérouter» une méthode de manière automatique et d'arriver à un résultat.

Au niveau des étudiants de BTS CPI et des projets qui leur sont confiés, il est possible d'utiliser cette méthode avec ou sans assistance informatique, en s'aidant par exemple de tableaux formalisés dans des documents papiers.

Des bases de données d'effets sont aujourd'hui disponibles sur Internet, souvent moyennant finances...

## La formation des étudiants à la méthode TRIZ

Actuellement, les entreprises industrielles qui mettent en place la méthode TRIZ identifient trois niveaux de formation :

- Le niveau d'expertise, qui correspond aux compétences d'un ingénieur capable d'animer et de structurer une action d'innovation en maîtrisant l'ensemble des outils de la méthode et en possédant l'expertise technique et méthodologique adaptée. Au sein de l'éducation nationale, ces experts, en nombre limité (un ou deux par académie), seront formateurs de formateurs.
- Le niveau d'animateur d'action TRIZ, qui doit être le niveau atteint par les professeurs intervenant dans le suivi des thèmes de BTS CPI. L'animateur doit être capable de proposer les outils et les méthodes TRIZ dans le cadre des projets de l'épreuve professionnelle de synthèse ainsi que dans des phases de formation des étudiants.
- Le niveau d'acteur, participant à une action TRIZ, qui doit être celui proposé aux étudiants. Dans cette situation, le technicien se doit d'être sensibilisé aux objectifs et aux grandes lignes de la méthode TRIZ, de manière à ce qu'il soit informé de la puissance et des limites de l'outil qu'il met en œuvre.

## 2.3 La chaîne numérique : maquette numérique, prototypage

### 2.3.1 La chaîne numérique :

La chaîne numérique permet de réaliser toutes les étapes qui mènent du cahier des charges à la production d'un produit.

Un module informatique spécialisé peut être associé à chacune des phases de l'étude et de la production du produit. L'ensemble de ces modules, interconnectés et souvent intégrés dans la même interface utilisateur, constitue la chaîne numérique.

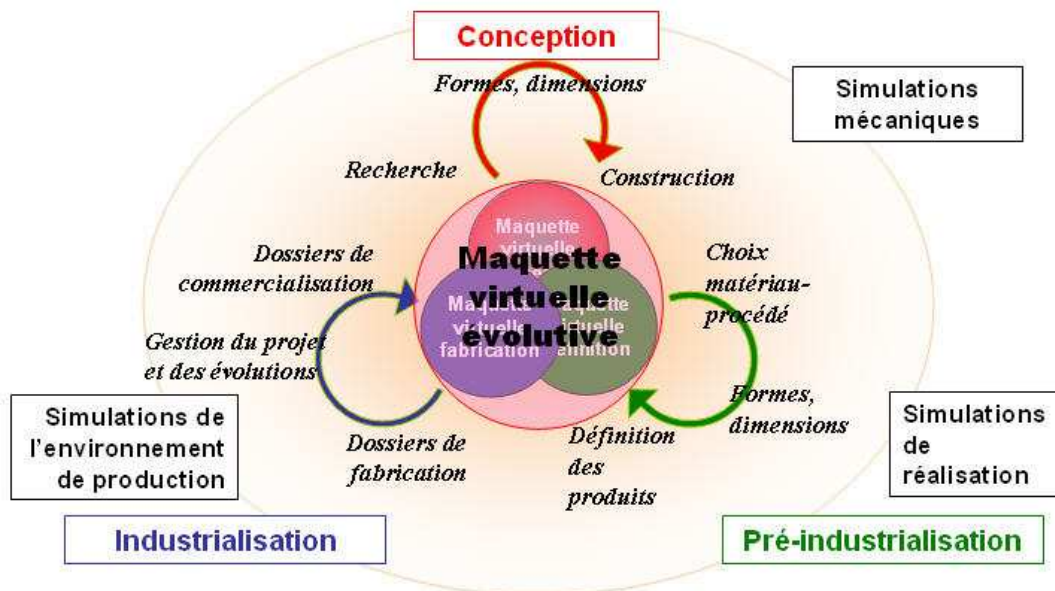


Figure 10



### **2.3.2 La maquette numérique**

On entend par maquette numérique l'ensemble des représentations informatiques qui ont permis la conception d'un produit. Le terme maquette numérique ne peut donc pas être réduit à la seule image volumique d'un produit.

Elle prend divers états tout au long du processus de conception et doit permettre d'éliminer au maximum les sources de non qualité rencontrées lors de la fabrication et de l'utilisation du produit.

#### **2.3.2.1 Les outils informatiques de conception**

Les outils utilisés comprennent :

- des modeleurs paramétriques et variationnels : les modèles géométriques dépendent de dimensions caractéristiques données dans une esquisse et lors de l'opération de génération. Le paramétrage permet de piloter les volumes du modèle par simple modification de contraintes dimensionnelles. Dans certains cas, lorsqu'il est couplé à des conditions particulières, ce type de paramétrage peut alors être piloté par des relations mathématiques. Par exemple : le nombre de trous de passage d'un assemblage boulonné peut ainsi être calculé en fonction d'une pression.
- des modules d'analyse des déformations et contraintes,
- des modules d'analyse des comportements cinématiques et dynamiques,
- des modules métiers : ils doivent permettre la validation d'un procédé d'obtention à partir d'une géométrie initiale. Cette géométrie est alors modifiée puis revalidée. La démarche est donc itérative et permet d'optimiser la solution dans cette phase de pré industrialisation.
- des modules de conception collaborative,
- des modules de gestion de données techniques et de suivi du projet,
- des bases de données externes : bibliothèque d'éléments standard, banque de données de règles de conception, base de connaissances.

L'exploitation raisonnée des différents modules permet une réduction simultanée des durées de conception-production et des coûts.

#### **2.3.2.2 Les démarches d'élaboration de la maquette numérique**

Les outils associés à la maquette numérique permettent la mise en œuvre de plusieurs stratégies de conception :

- La conception ascendante : méthode traditionnelle amenant à la construction d'un système à partir de pièces créées individuellement puis assemblées à l'aide de contraintes géométriques. Cette approche intuitive est mise en œuvre lors de l'insertion de composants standard ou à l'occasion d'une reconstruction de maquette.
- La conception descendante : c'est la méthode la plus efficace pour les concepteurs. Fondamentale, elle permet de travailler directement dans l'assemblage. La création des nouvelles pièces se fait dans le contexte d'assemblage en s'appuyant sur la géométrie des pièces existantes. Un lien ou référence externe est alors créé automatiquement. La gestion de ces références externes fait partie des compétences nécessaires à la bonne maintenabilité des modèles et au partage de composants entre plusieurs systèmes.

- Conception en mode plan : méthode particulière, fondée sur l'exploitation d'une esquisse générale pouvant contenir des conditions particulières (jeux, dimensions,...). Pour créer les composants et l'assemblage, il suffit d'importer tout ou partie de l'esquisse et d'effectuer les transformations volumiques adaptées.
- Conception en mode schéma : méthode amenant le concepteur à créer un schéma qui définit toutes les caractéristiques fonctionnelles (dimensions, entraxes, équations,etc.) du cahier des charges. Certains outils permettent la définition des contraintes d'assemblage.

### 2.3.2.3 La maintenabilité

La maquette numérique est associée à la vie du produit qu'elle décrit. Sa vocation est donc d'être utilisée et partagée par de multiples intervenants.

Tout échange ne peut être effectué que sur des critères d'utilisation et d'exploitation partagés.

Fruit de l'expérience, des méthodes de travail, associées à des règles strictes d'utilisation des outils permettent, au sein d'un bureau d'études, de faciliter et d'établir les bases d'échanges. Il devient alors possible de partager ces modèles, de les faire vivre et donc de les sortir de la seule perception graphique.

| LA MAQUETTE NUMERIQUE   |                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                 |                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Phase de l'étude        | Forme                                                                                                                                | Données                                                                                                                                                         | Détail                                                                    | Objectifs                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Conception préliminaire | <b>Squelette (+ schéma)</b><br>(points, axes, plans, esquisses, courbes 3D, surfaces, volumes simples)                               | Cahier des charges fonctionnel.<br>FAST, analyse descendante...                                                                                                 | Volumes d'encombrement, interfaces avec les ensembles ou produits voisins | Définition de l'architecture générale, découpage en sous ensembles fonctionnels.<br>Mise en place des informations partagées du CDCF.                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|                         | <b>Squelette dérivé (+ schéma)</b><br>(nouveau ou dérivé [copie géométrique complétée] du squelette de définition de l'architecture) | Cahier des charges fonctionnel.<br>Architecture générale.<br>Découpage en sous ensembles fonctionnels.<br>FAST, croquis, schémas ... de recherche de solutions. | Représentation schématique des classes d'équivalence                      | Etude cinématique (recherche des courbes ou surfaces enveloppes lors des mouvements).<br>Validation de la faisabilité cinématique d'un mécanisme.<br>Etude RdM de pré dimensionnement des éléments de structure par application de la théorie des poutres.<br>Pré dimensionnement des actionneurs par l'utilisation des lois de l'énergétique (prise en compte d'hypothèses constructives [masses en mouvement, lois de comportement, etc.]) |

| LA MAQUETTE NUMERIQUE   |                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Phase de l'étude        | Forme                                                                                            | Données                                                                                                                                                                                                                                                                              | Détail                                                                                                                                               | Objectifs                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Conception préliminaire | Volumique approchée (squelette + schéma)<br>(approche constructive ascendante et/ou descendante) | Cahier des charges fonctionnel.<br>Squelettes dérivés.<br>Résultats des analyses cinématiques, énergétiques et RdM.<br>Croquis et schémas détaillés reprenant les intentions du concepteur.<br>Bases de données d'éléments standard.<br>Banque de données de règles de conception... | Représentation du produit par la modélisation des composants autour des composants du commerce (mise en évidence des surfaces, volumes fonctionnels) | Approche générale permettant de valider les principes constructifs.<br>Etude dynamique (validation des lois de comportement, détermination des efforts dynamiques),<br>Etude RdM : dimensionnement des composants en regard des sollicitations statiques et/ou dynamiques.<br>Démarche itérative sur les cas d'étude cités. |

| LA MAQUETTE NUMERIQUE                         |                                                |                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Phase de l'étude                              |                                                | Forme                               | Données                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Détail                                                                                                                                                                                                                             | Objectifs                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Conception détaillée et pré industrialisation | Conception détaillée de la pièce et du produit | Volumique détaillée                 | Cahier des charges fonctionnel, squelettes, résultats des études statique / dynamique et de dimensionnement.<br><br>Le ou les procédés envisagés.<br><br>Bases de données matériaux/procédés/coût.                                                                                                                        | Représentation détaillée des composants constitutifs du produit.                                                                                                                                                                   | Définition détaillée du produit par la conception détaillée de chacun de ses composants. Les formes, éventuellement validées par une simulation, prennent en compte la famille de matériau / procédé choisi.<br><br>Etude RdM : dimensionnement des composants en regard des sollicitations statiques et/ou dynamiques.<br><br>Démarche itérative sur les cas d'étude cités |
|                                               | Conception spécifiée                           | Volumique détaillée + mises en plan | Cahier des charges fonctionnel, squelettes, résultats des études statique / dynamique et de dimensionnement.<br><br>Le ou les procédés envisagés. Conception volumique détaillée.<br><br>Bases de données Procédé/Capabilité générale et spécifique /Coût.<br><br>Documents d'analyse détaillée des surfaces à spécifier. | Représentation détaillée des composants avec prise en compte des éléments dimensionnels et géométriques fonctionnels (réorganisation de l'arbre de création pour faire remonter le fonctionnel dans les intentions de conception). | Réalisation des documents contractuels (dessins de définition, dessins d'ensembles, etc.) associés à la spécification du produit.<br><br>Vérifications des conditions fonctionnelles (incidence des intervalles de tolérance associés aux différentes spécifications dimensionnelles et/ou géométriques sur la condition).                                                  |

#### 2.3.2.4 Transfert de données :

La maquette numérique peut nécessiter, selon le point de vue adopté, une conversion de format, notamment lorsqu'on veut faire réaliser un prototype du modèle.

La conversion est souvent automatique mais elle nécessite un paramétrage (nombre de facettes souhaitées, etc.).

Il est important que les étudiants soient informés de l'existence et de la nature de ces différents formats d'échange ainsi que des paramètres nécessaires à leur obtention dans les conditions souhaitées.

Le passage d'un type de modèle à un autre a aussi son utilité. Ainsi par exemple le passage d'un modèle volumique à un modèle surfacique ; lorsqu'on veut valider les formes d'une pièce emboutie, il est nécessaire de ne transférer que la surface extérieure ou intérieure de la pièce. Pour cela, il est nécessaire de connaître les différents formats d'échange les plus utilisés (STEP, IGES, STL ...).

### 2.4 Industrialisation des pièces

Il s'agit essentiellement de donner aux étudiants des aides à la décision pour concevoir et définir des produits compétitifs. C'est la phase de pré industrialisation.

L'enseignement de l'Industrialisation des produits en section TS CPI ne vise donc pas la formation de spécialistes en étude des processus et en conception des outillages de fabrication.

Pour satisfaire son utilisateur un produit doit :

- remplir l'ensemble des fonctions techniques déduites du cahier des charges ;
- offrir une géométrie compatible avec ces fonctions techniques et, éventuellement, avec l'esthétique attendue ;
- être fabriqué, et donc vendu, à un prix acceptable.

Dans cette logique, le choix du couple matériau-procédé est déterminant pour la compétitivité du produit. La relation produit-matériau-procédé pour une pièce donnée est donc au centre de cet enseignement d'industrialisation fortement coordonné avec l'enseignement de construction. L'aspect processus et outillage associé, parfois important, n'est abordé qu'à l'occasion d'un contact avec des spécialistes métiers

#### Quelques indications pour construire cet enseignement

Le processus industriel d'obtention de la pièce est organisé chronologiquement, il mobilise un ou plusieurs procédés, les outillages correspondants, les équipements et les savoir-faire métiers, le tout dans des conditions économiques données.

L'approche du choix nécessite donc :

- une analyse et une caractérisation du produit,
- la connaissance des caractéristiques principales des matériaux,
- la connaissance des caractéristiques des principaux procédés de transformation de la matière,
- la mise en œuvre, en appui sur les critères techniques et économiques, d'une démarche logique, assistée par des bases de données et par des logiciels d'aide à la décision, pour choisir et optimiser un couple matériau-procédé compatible avec les fonctions et la géométrie produit.

L'allure générale de la géométrie de la pièce ainsi que ses caractéristiques attendues sont les points de départ de l'étude.

- La caractérisation du produit
  - Le rapport qualité (au sens valeur d'usage) / prix,
  - Les fonctions de service et contraintes attendues par l'utilisateur,
  - La taille des lots et la fréquence annuelle de production,
  - Le coût objectif (prix de revient).
- L'inventaire des fonctions techniques à satisfaire
  - Les fonctions de structure : rigidité, résistance sous charge statique, résistance à la fatigue, volume, poids, résistance au choc, température minimale et maximale d'utilisation...
  - Les fonctions d'interface : géométrie des surfaces de contact, précision des assemblages et guidages, résistance à l'usure, facteur de frottement, capacité à transmettre les efforts, résistance aux agents chimiques, à la corrosion, caractéristiques diverses (porosité, opacité, rugosité, pouvoir absorbant,...)...
  - Les fonctions d'estime : aspect des surfaces (couleur, brillance,...), esthétique des formes,...
- La caractérisation du matériau
  - Les propriétés mécaniques : densité, limite élastique, module d'élasticité longitudinal (Young), résistance à la rupture, dureté, limite de fatigue, résistance au choc...
  - Les propriétés électriques : conductivité, résistivité, magnétisation...
  - Les propriétés thermiques : conductibilité thermique, coefficients de dilation thermique, résistance au feu, température maximale d'utilisation...
  - Les propriétés physico-chimiques : vieillissement, comportement à la corrosion, aux agents chimiques, aptitude aux traitements thermiques, aptitude aux traitements et revêtements de surface...
  - Les aptitudes aux transformations : formage, usinage, soudage, polymérisation, moulage, aptitude aux traitements thermiques...
  - Les caractéristiques économiques : prix, disponibilité, forme marchande, lots marchands...
- La caractérisation du procédé
  - Les principes de transformation : déformation, moulage, compactage de poudre, usinage, transformation moléculaire, polymérisation, procédés spéciaux...
  - L'influence de la transformation physico-chimique sur le matériau : matériaux compatibles, pérennité structurelle de la matière, évolution des propriétés physico-chimiques, évolution des propriétés mécaniques, dépendance à l'état initial de la matière...
  - Les critères économiques : taille des lots, fréquences de production, coût des outillages, performances des équipements, tolérances économiques réalisables, coût de la matière initiale, intégration dans le système de production de l'ensemble du produit, savoir-faire industriel ...
  - Les contraintes de l'interface produit/procédé : faisabilité du porte pièce éventuel, faisabilité de l'empreinte éventuelle, possibilité d'approvisionnement ou d'acheminement de la matière, possibilité de récupération et de parachèvement de la pièce...

- La compatibilité avec la géométrie de la pièce à réaliser : formes et épaisseurs, associations de surfaces et de volumes, congés et arrondis, précision des dimensions obtenues, états des surfaces obtenues...
- Une démarche possible :
  - Caractériser le produit ;
  - Inventorier et hiérarchiser les spécifications de conception ;
  - Rechercher le matériau et le procédé ;
  - Les propriétés attendues, les coûts, la géométrie générale de la pièce délimitent les matériaux et procédés compatibles ;
  - La capacité des procédés ainsi que des données techniques et économiques sur les équipements, les outils, les outillages, la main d'œuvre, la taille des lots, conduisent aux meilleurs procédés ;
  - L'inventaire des procédés acceptables techniquement et économiquement valide ou restreint le groupe des matériaux compatibles ;
  - Les informations complémentaires issues des banques de données, la forme marchande des bruts, conduisent aux meilleurs matériaux ;
  - Les conditions locales : disponibilité, délai de livraison..., imposent le choix définitif du matériau ;
  - Simultanément, les moyens techniques disponibles et le savoir-faire local imposent le procédé final ;
  - Les moyens de prototypage, de simulation valident les choix et permettent d'améliorer la géométrie du produit ;
  - La prise en compte du processus global de réalisation de la pièce conduit à définir la géométrie terminale du produit que l'on valide par la vérification éventuelle des propriétés attendues (résistance, déformation...) au regard du CdCf initial.
- Les logiciels d'aide au choix

Si la caractérisation du produit est une conséquence du cahier des charges fonctionnel, la connaissance des matériaux et des procédés est plus délicate compte tenu de l'étendue des ressources. A côté d'une base de connaissances indispensables et précisées dans le programme, il faudra se doter de moyens pour enrichir la qualité des choix.

De nombreux produits sont actuellement disponibles pour l'aide à la décision dans cette phase de pré industrialisation. On distingue :

- Les bases structurées sur les matériaux et les procédés qui proposent des logiques de choix progressif.
- Les bases des fournisseurs de matériaux ou d'équipements qui privilégient les formes marchandes et les caractéristiques générales.
- Les logiciels de simulation de procédés, parfois intégrés aux modeleurs qui, à partir de la maquette numérique, permettent de vérifier divers paramètres du procédé et valider sa faisabilité ou indiquer les divers défauts. Il faut distinguer ici deux types de produits : ceux qui sont accessibles par le concepteur en toute autonomie, et ceux qui sont des outils métiers que seuls des spécialistes peuvent exploiter. Il sera alors intéressant de connaître les fonctionnalités de ces produits évolués pour privilégier le dialogue avec le spécialiste. Ces derniers outils, qui permettent aux enseignants de réaliser des parties de cours d'industrialisation, ne doivent pas être utilisés par les étudiants.

### Quelques pistes pédagogiques

Un certain nombre de travaux pratiques peuvent être mis en œuvre pour contribuer à cet enseignement :

- Mise en œuvre d'essais de traction, flexion, dureté sur des matériaux représentatifs des matériaux les plus utilisés en construction mécanique.
- Manipulations expérimentales mettant en évidence le phénomène de déformation des pièces planes.
- Etudes de cas de recherche du couple matériau/procédé, avec mise en œuvre de logiciels d'aide au choix. On privilégiera les procédés de fonderie, forgeage, injection de polymères, formage, usinage.
- Montage et démontage d'outillages relatifs à un procédé donné : usinage, injection, forgeage, emboutissage, thermoformage.
- Associations de pièces, d'outillages et de typologie de machines CN pour faire émerger l'incidence du choix des formes et positions relatives des formes sur le processus d'usinage.

Toutes les activités doivent reposer sur une problématique visant la définition du produit (modification de matériau, de forme...).

## 2.5 La mécanique industrielle et la simulation numérique

L'enseignement de la mécanique est au service de la construction des systèmes industriels avec le souci constant de conduire rapidement à un résultat maîtrisé, adapté à la problématique technique en terme de finesse d'investigation. La mobilisation d'un outil théorique **à la seule fin** d'en améliorer sa maîtrise, tant du point de vue intellectuel que du point de vue opérationnel, serait inopportune dans le cadre d'une formation professionnalisante post-baccalauréat.

En ce sens, l'apport d'outils numériques de simulation oblige à rappeler l'importance :

- d'une part de l'analyse préalable du problème (de la situation problème à la proposition d'un modèle),
- et d'autre part de la validation terminale, par l'interprétation des résultats et les conséquences constructives.

Il est utile de rappeler que les cas les plus éclairants sont souvent (et doivent rester) simples. Ils permettent une résolution traditionnelle, qui illustre la mise en application d'un cours structuré, et laissent les situations particulières et compliquées aux calculateurs.

L'actualité du support industriel est une condition qui conforte la réalité du problème technique proposé. Ceci implique une bonne connaissance du système, des évolutions et modifications techniques qui ont déterminé les choix constructifs au sein du support. Le cahier des charges fonctionnel est un élément essentiel de cette dimension industrielle.

Le support industriel est exploité pédagogiquement au travers d'une situation problème. Celle-ci mobilise un questionnement ou une problématique qui comporte un problème technique authentique, garant de la légitimité de l'étude et de la vraisemblance des résultats obtenus.

La modélisation, représentation simplifiée et non simpliste de la réalité, autorise les investigations théoriques au regard du point de vue retenu et de problématique industrielle posée. Le champ d'expertise (mécanique, construction, électrotechnique,

automatique, fabrication, etc.) caractérise le point de vue. A ce titre, la modélisation systématique proposée par certains logiciels à partir de la maquette numérique, dans la mesure où l'objectif de l'étude et le point de vue sont ignorés, doit être considérée avec beaucoup de prudence.

Si le modèle est trop « pauvre », il induira des résultats plus ou moins corrélés à la réalité, si le modèle est trop « riche », il sera difficile voire impossible à exploiter.

Dans son exploitation, un modèle implique une frontière d'étude (choix du sous système isolé), des hypothèses, un domaine de validité et une précision intrinsèque (taux d'erreur). En conséquence, il est aisé de comprendre qu'un même sous système, à partir de deux points de vue différents, peut donner lieu à deux modélisations différentes.

D'une part, le modèle de connaissance établi sera confronté avec intérêt aux résultats observés dans le cadre des travaux pratiques, ce qui permettra de développer une culture des ordres de grandeur.

D'autre part, l'exploitation numérique itérative, servie par la robustesse de la maquette, permettra de visualiser l'influence relative des différents paramètres, d'étudier une configuration particulière, d'optimiser, de rechercher une situation critique, et dans le cadre d'une confrontation avec les TP d'effectuer un recalage des modèles. Dans ce cadre, plus de virtuel ne peut engager qu'à mieux appréhender le réel.

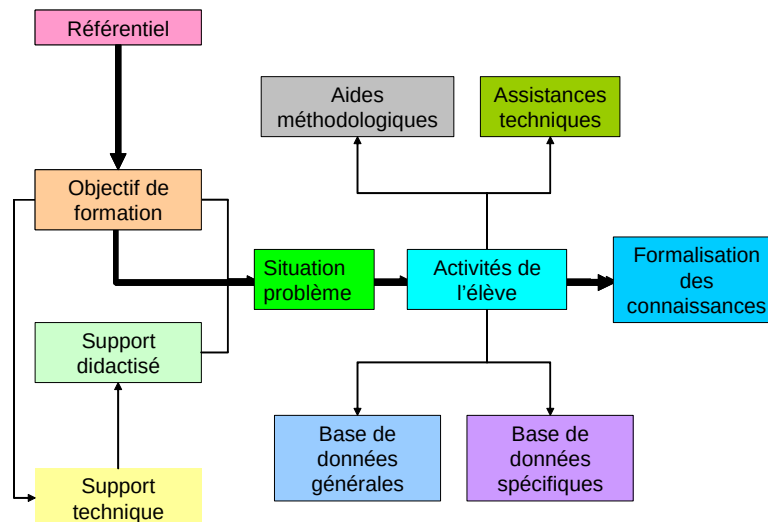
Enfin à partir des travaux pratiques, la manipulation et l'observation permettront de construire des modèles et d'identifier les termes caractéristiques associés à des lois de comportements



## Chapitre 3 : Mise en œuvre des travaux pratiques

La formation en BTS CPI bénéficie d'un temps long d'activités en groupe d'étudiants, permettant la mise en place de nombreuses activités pratiques (construction et mécanique, industrialisation, motorisation des systèmes). Cette modalité particulière dont l'efficacité en terme d'apprentissage apparaît de plus en plus réelle à mesure qu'évolue l'attitude des étudiants face aux savoirs, impose une réflexion pédagogique et didactique particulièrement importante, si l'on veut accroître l'efficacité des TP.

Inscrite dans la stratégie générale de formation qui articule méthode inductive et déductive, la conception des travaux pratiques de construction mécanique et d'industrialisation en BTS CPI doit inscrire l'action du pédagogue dans le schéma global ci-après.



L'ordre des étapes qui conduisent à la construction de l'activité pratique, autant qu'à la description de leur contenu doivent être respectés si l'on veut donner à cette modalité d'enseignement toute l'efficacité dont on sait qu'elle est porteuse. Un travail collectif de l'équipe enseignante sur ces concepts est particulièrement recommandé.

### Etape 1 : Du référentiel à l'objectif de formation

Il s'agit dans cette étape :

- du repérage des points du référentiel ou du programme méritant un apprentissage via un TP,
- du choix d'un modèle d'apprendre approprié à privilégier,
- de l'inscription de l'activité dans un centre d'intérêt centrant l'attente de l'ensemble du groupe sur une classe de problème (La recherche des centres d'intérêt appuyée sur les propositions de ce livret est un acte pédagogique déterminant de l'équipe enseignante de BTS CPI).

L'objectif de formation étant identifié, des objectifs intermédiaires étant repérés, la compatibilité entre objectifs et durée de la séance étant assurée à priori, il est possible de lister les connaissances ou les savoirs faire visés par l'activité (primo apprentissage ou consolidation).

### **Etape 2 : Rédaction de la fiche de formalisation des connaissances**

Cette fiche, par les questions qu'elle pose ou par les illustrations qu'elle requiert, permet la consignation des savoirs (éventuellement le résultat de savoir-faire) visés par l'apprentissage dévolu à l'activité proposée. Il s'agit d'un document spécifique, gardé par l'étudiant, résumant ce qu'il doit retenir.

### **Etape 3 : Choix du support technique et de son éventuelle didactisation**

Ce choix doit répondre à de nombreux critères :

- Système technique représentatif des technologies actuelles, motivant.
- Système pertinent par rapport à l'objectif de formation visé et au centre d'intérêt retenu.
- Système technique disponible et financièrement accessible.
- Support technique adapté et modifié pour répondre aux besoins des manipulations prévues dans les activités de TP :
  - Utilisation, manipulation, analyse de la structure et du fonctionnement.
  - Montage, démontage, observations et identification de solutions constructives.
  - Prises d'informations, relevés de performances, lois d'entrée - sortie...
  - Sécurisation des personnes et des biens...

### **Etape 4 : Identification de la situation "problème"**

Il s'agit d'identifier une problématique technique destinée à donner du sens aux activités de l'étudiant et de servir, de son point de vue, de fil conducteur aux apprentissages. Cette problématique est liée à la situation du système étudié dans son contexte authentique d'utilisation.

### **Etape 5 : Définir les activités proposées aux étudiants**

Caractéristique de l'apprentissage visé, cette étape fondamentale permet de développer, en termes d'activités mobilisant les sens (toucher, ouïe, vue), la stratégie pédagogique retenue comme efficace et pertinente. La définition des activités sous-tend un choix de méthode d'apprentissage. La situation de travaux pratiques exclut pour l'essentiel une modalité transmissive des savoirs (cours magistral par exemple) au profit :

- soit d'une démarche béhavioriste. Celle-ci postule l'apprentissage par la qualité du résultat attendu. Elle se décline bien du référentiel qui, à partir de données, exige un résultat observable par le biais d'indicateurs et de critères.
- Soit d'une démarche constructiviste qui prône davantage une pédagogie de la découverte avec droit à l'erreur, et retour par d'autres voies garantissant l'intérêt de l'étudiant.

Dans la logique de ce premier choix, les scénarios organisant les activités proposées à l'étudiant, relèvent de trois catégories principales :

- Les parcours précis, linéaire et séquentiel, bâti sur des actions imposées : pas d'initiative laissée à l'apprenant. Cette situation ne correspond pas au niveau de formation qu'est le BTS.

- Les parcours mixtes, alternant guidage précis et phases de recherche libre à partir d'une question ouverte, situation à privilégier à ce niveau d'enseignement.
- Les parcours plus libres amenant l'étudiant à explorer un environnement, poser des hypothèses, proposer des solutions et, après un arbitrage avec le professeur, à s'engager dans « son » parcours. Cette situation que l'on trouve dans les projets de deuxième année, doit également être présente dans les TP lorsque les savoirs ou les savoir-faire visés sont d'un niveau élevé de complexité ou lorsque leur criticité au regard de la poursuite de la formation est réelle (cap obligatoire à passer dans un champ donné de connaissances).

### **Etape 6 : Définir les aides mises à disposition des étudiants**

Les aides mises à disposition des étudiants sont de deux types: les aides méthodologiques et les assistances techniques.

#### ***Aides méthodologiques :***

Il s'agit de modules d'aide proposés aux étudiants en libre service, accessibles à tout moment du travail. Ces modules se proposent d'assister l'étudiant dans une démarche d'ordre :

- technique (choix un composant, définition d'une solution constructive...),
- scientifique : (formulation d'une loi d'entrée-sortie d'un train épicycloïdal par exemple, ...),
- méthodologique (démarche de construction d'un schéma, ..).

#### ***Assistances techniques***

Il s'agit principalement de modules relatifs à l'utilisation d'un outil.

Exemples :

- Démarche d'accès à un composant dans une base de données techniques,
- Didacticiel d'aide à la réalisation d'une mise à plat de pièce de tôlerie formée.

### **Etape 7 : Associer à l'ensemble du dispositif les bases de données utiles**

Les bases de données utiles à la réalisation du TP autant qu'à l'action d'apprentissage visée se déclinent en deux sous ensembles :

- Bases de données générales :

Ce sont des bases de données réunissant des renseignements de type scientifiques et techniques du niveau du BTS.

Elles permettent de réaliser un premier tri entre les informations innombrables disponibles sur Internet ou les réseaux locaux et les informations utiles et adaptées à ce niveau de formation.

Elles permettent d'augmenter la culture technique de l'étudiant en lui proposant un accès libre à des informations diverses. Ces bases de données devraient être construites et mises au point, pour un cycle donné, au niveau de l'équipe des professeurs intervenant dans la section de BTS CPI. Une mutualisation académique est largement souhaitable.

- Base de données spécifiques

Cette base de données est relative au produit technique support de l'activité pratique. On peut dans cette catégorie citer :

- o la maquette numérique,
- o les modes d'emploi, notice de maintenance du produit,
- o une bibliothèque d'images et de films vidéo relatifs au produit et à son utilisation dans son environnement authentique,
- o des caractéristiques technico-économiques du produit,
- o des catalogues et notices techniques relatifs à certains composants présents dans le produit,
- o ...

### 3.1 Objectifs pédagogiques et typologie de travaux pratiques

Les travaux pratiques de construction mécanique, de mécanique appliquée et d'industrialisation des produits mettent en œuvre des supports matériels qui peuvent être classés selon deux types principaux :

- des mécanismes réels et authentiques : ceux-ci sont éventuellement appareillés pour analyser des solutions constructives, mesurer des caractéristiques et, plus généralement, permettre des observations relatives à leur comportement en situation réelle,
- des supports destinés à l'étude et la vérification des phénomènes mécaniques : ceux-ci sont conçus en vue de mettre en évidence les phénomènes mécaniques, d'en mesurer les effets et d'en faire émerger des lois et des règles.

Activités privilégiées pour utiliser conjointement les savoirs et savoir-faire en construction et en mécanique, ces travaux pratiques permettent :

- de mettre en relation le réel et ses représentations ; d'apprécier les écarts entre les résultats obtenus à partir du modèle d'étude et les résultats mesurés sur le réel,
- de mettre en lumière le choix des solutions constructives adoptées en regard des fonctions techniques à réaliser,
- de découvrir ou d'illustrer les lois fondamentales de la mécanique.

Ces activités utilisant largement l'outil informatique seront aussi l'occasion de développer, dans ce domaine, les apprentissages fondamentaux qui permettront d'atteindre l'autonomie nécessaire dès la seconde année de formation.

Les travaux pratiques sont organisés par cycles. Un cycle est la période au bout de laquelle tous les élèves du groupe ont réalisé les activités (parfois différentes) supportant les apprentissages dévolus au cycle. En classe de TS CPI, la durée maximale d'un cycle est de quatre semaines, mais il y a tout avantage à réduire cette durée afin que les leçons de synthèse associées au cycle soient les plus proches possibles des activités pratiques qui sous-tendent les savoirs visés par le cycle. Cette exigence conduit à définir pour chaque cycle de travaux pratiques un ou deux centres d'intérêt qui permettent, par leur programmation réfléchie, une progression cohérente des apprentissages tout au long de l'année.

#### 3.1.1 Les Centres d'intérêts

Les centres d'intérêts pour la construction mécanique, la mécanique appliquée et l'industrialisation des produits sont rassemblés dans le tableau ci-après.

Les centres d'intérêt sont donc le cadre structurant des activités de travaux pratiques qu'il convient donc d'identifier avant de dresser une liste de centres d'intérêts.

Pour établir une liste des travaux pratiques pertinents, on se propose d'associer à chaque point du référentiel deux critères pédagogiques importants : les niveaux de complexité et de criticité.

La complexité exprime la difficulté intrinsèque du concept étudié. Plus un concept est délicat à comprendre, plus il faut s'efforcer de lui associer une démarche d'apprentissage inductive et pratique qui permettra aux étudiants d'y rattacher des représentations mentales justes et au professeur de bâtir une formation s'appuyant sur une solide progressivité des acquis.

La criticité exprime le caractère fondamental d'un concept qui, si il n'est pas bien assimilé, entraînera des difficultés d'apprentissages ultérieures importantes, même si son niveau de complexité n'est pas très élevé.

Le tableau ci-dessous permet d'indiquer, pour chaque item du référentiel des savoirs, un niveau de complexité et de criticité. Les valeurs indiquées ne sont qu'indicatives et moyennes. Chaque équipe de professeur pourra reprendre avec profit cette réflexion et proposer d'autres valeurs, en fonction d'un contexte local donné, de son expérience pédagogique et des observations faites au cours des années.

Les tableaux ci-après présentent par centre d'intérêt (CI) d'une part les thématiques et d'autre part un contenu global associé.

| Axe | Thématique | Contenu global associé | Complexité<br>(noté de 1 à 5) | Criticité<br>(noté de 1 à 5) |
|-----|------------|------------------------|-------------------------------|------------------------------|
|-----|------------|------------------------|-------------------------------|------------------------------|

**CI-1 : Analyse fonctionnelle d'un produit**

|       |                                                                                       |                                                                                                                                                        |   |   |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|
| A-1-1 | Approche externe de l'analyse fonctionnelle : le CdCF                                 | L'identification du besoin d'un produit, de ses fonctions de service et de son cahier des charges fonctionnel                                          | 2 | 5 |
| A-1-2 | Approche interne de l'analyse fonctionnelle : le FAST                                 | L'architecture fonctionnelle d'un produit, ses fonctions techniques, et les flux (physique, énergie, information) qui conditionnent son fonctionnement | 3 | 5 |
| A-1-3 | Architecture fonctionnelle des chaînes d'information et d'énergie, frontières et flux | La notion de frontière de description et la typologie des entrées et des sorties                                                                       | 3 | 3 |

**CI-2 : Guidages et assemblages**

|       |                                                                     |                                                                                                                                  |   |   |
|-------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|
| A-2-1 | Étude de la fonction : assemblage                                   | Les principales solutions constructives de liaisons complètes, démontables et permanentes, standardisées et spécifiques          | 3 | 5 |
| A-2-2 | Étude de la fonction : Guidage en translation par glissement        | Solutions constructives par contact direct et par interposition de coussinets.                                                   | 3 | 5 |
| A-2-3 | Étude de la fonction : Guidage en translation par éléments roulants | Les principales solutions constructives de liaisons glissières par roulement. Rail à billes et à rouleaux, douille à billes, ... | 4 | 5 |
| A-2-4 | Étude de la fonction : Guidage en rotation par glissement           | Solutions constructives par contact direct, par interposition de coussinets, par palier fluide.                                  | 3 | 5 |
| A-2-5 | Étude de la fonction : Guidage en rotation par éléments roulants    | Solutions constructives par montages de roulements.                                                                              | 4 | 5 |
| A-2-6 | Études des montages précontraints                                   | Incidence sur la précision et la rigidité de la précontrainte.                                                                   | 5 | 2 |
| A-2-7 | Étude de la liaison rotule                                          | Différentes solutions constructives.                                                                                             | 4 | 3 |
| A-2-8 | Modélisation des assemblages mécaniques                             | Le principe du passage du réel au modèle cinématique d'un assemblage, comportement local et mobilité d'une liaison               | 4 | 5 |

**CI-3 : Transmission de puissance, transformation de mouvement**

|       |                                                             |                                                                                                                       |   |   |
|-------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|
| A-3-1 | Transmission directe sans transformation de mouvement       | Les principales solutions constructives d'accouplement rigide et élastique.                                           | 3 | 5 |
| A-3-2 | Transmission par friction                                   | Solutions constructives des embrayages, freins et limiteurs de couple.                                                | 3 | 5 |
| A-3-3 | Transmission par adhérence sans transformation de mouvement | Les principales solutions constructives de liaisons poulie-courroie.                                                  | 4 | 5 |
| A-3-4 | Transmission par obstacle sans transformation de mouvement  | Solutions constructives par engrenages et par chaînes. Applications aux réducteurs à trains simples et épicycloïdaux. | 4 | 5 |
| A-3-5 | Transmission avec transformation de mouvement               | Solutions constructives par cames, vis-écrou, systèmes articulés plans.                                               | 4 | 5 |

**CI-4 : Motorisation, conversion d'énergie**

|       |                         |                                                                                                                                                                          |   |   |
|-------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|
| A-4-1 | Motorisation électrique | Etude des différents types d'actionneurs électriques.<br>Validation technico-économique du choix d'un actionneur électrique à partir de bases de données constructeur.   | 3 | 5 |
| A-4-2 | Actionneur pneumatique  | Etude des différents types d'actionneurs pneumatique.<br>Validation technico-économique du choix d'un actionneur pneumatique à partir de bases de données constructeur.  | 3 | 4 |
| A-4-3 | Actionneur hydraulique  | Etude des différents types d'actionneurs hydrauliques.<br>Validation technico-économique du choix d'un actionneur hydraulique à partir de bases de données constructeur. | 3 | 4 |
| A-4-4 | Capteurs                | Solutions constructives de détecteurs avec ou sans contact.<br>Capteur de position, de vitesse, d'accélération, de pression, d'effort.                                   | 3 | 4 |

**CI-5 : Relation Produit – Matériau – Procédé**

|       |                                                       |                                                                                                                                                                                                                  |   |   |
|-------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|
| A-5-1 | Classes et caractéristiques des matériaux             | Caractéristiques physico-chimiques :<br>masse volumique, conductibilité, résistance à la corrosion...<br>Caractéristiques mécaniques :<br>résistance, dureté, résilience, élasticité, résistance à la fatigue... | 5 | 5 |
| A-5-2 | Traitement des matériaux                              | trempe, revenu, recuit,<br>trempe superficielle, cémentation, nitruration,<br>revêtement métallique : galvanisation, nickelage... autres revêtements : peintures, résines... constructeur.                       | 5 | 5 |
| A-5-3 | Interaction fonction - matériau - géométrie – procédé | Critères de choix d'un matériau.<br>Diagrammes et logigrammes et logiciels d'aide au choix.                                                                                                                      | 4 | 5 |

**CI-6 : Spécification de produits**

|       |                                                             |                                                                                                                                                                                   |   |   |
|-------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|
| A-6-1 | Décodage d'une spécification. Appropriation du langage ISO. | Spécifications dimensionnelles, de forme, de position, d'orientation, de battement.<br>Eléments de référence, référence spécifiée, zone de tolérance.<br>Condition de conformité. | 5 | 5 |
| A-6-2 | Détermination des spécifications d'une pièce                | Analyse et quantification des conditions de fonctionnement et de montage : cotes conditions, jeux, ajustements, chaînes géométriques des contacts.                                | 5 | 5 |

**CI-7 : Organisation et suivi de projet**

|       |                                    |                                                                                                            |   |   |
|-------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|
| A-7-1 | Méthodes de gestion de projet.     | Travail de groupe pluridisciplinaire, ingénierie concourante, gestion de projet : outil PERT, outil GANTT. | 2 | 3 |
| A-7-2 | Etude des outils de la créativité. | Familiarisation avec une méthode de créativité : TRIZ                                                      | 5 | 5 |

**CI-8 : Représentation d'un produit technique**

|       |                                                        |                                                                                                                                                                                                                        |   |   |
|-------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|
| A-8-1 | Schématisation en phase de recherche de solutions      | Croquis. Schéma de principe. Schéma architectural. Schéma cinématique. Schéma technologique                                                                                                                            | 2 | 3 |
| A-8-2 | Méthodologies de construction de la maquette numérique | Méthodes de conception : <ul style="list-style-type: none"> <li>• dans l'assemblage,</li> <li>• par pièce,</li> <li>• par surfaces fonctionnelles,</li> <li>• par mode plan,</li> <li>• par mode schéma,...</li> </ul> | 4 | 5 |
| A-8-3 | Outils d'exploitation de la maquette numérique         | Elaboration des mises en plan, habillages de cotation, éclatés, rendus réalistes, animations...                                                                                                                        | 3 | 3 |

**CI-9 : Cinématique**

|       |                                     |                                                                                                                                                                   |   |   |
|-------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|
| A-9-1 | Cinématique d'un point d'un solide. | Caractérisation du mouvement d'un point d'un solide par rapport à un repère, appliqué aux mouvements de translation, de rotation autour d'un axe fixe, hélicoïdal | 2 | 5 |
| A-9-2 | Mouvements plans.                   | Etude des propriétés et des méthodes d'analyse des mouvements plans : CIR, équiprojectivité, enveloppe...                                                         | 4 | 5 |
| A-9-3 | Etude des chaînes cinématiques.     | Etude des lois d'entrées sorties de mécanismes transmetteurs ou transformatrices de mouvement.                                                                    | 4 | 5 |

**CI-10 : Statique**

|        |                                         |                                                                                                      |   |   |
|--------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|
| A-10-1 | Modélisation des actions mécaniques.    | Etude globale et locale des actions mécaniques et de leurs différentes représentations vectorielles. | 4 | 5 |
| A-10-2 | Définition de la frontière d'une étude. | Choix et isolement d'un système.                                                                     | 3 | 4 |
| A-10-3 | Principes fondamentaux de la statique.  | Réciprocité des actions mutuelles. Théorèmes de la résultante et du moment.                          | 3 | 5 |
| A-10-4 | Résolutions d'un problème.              | Résolutions analytiques. Résolutions graphiques.                                                     | 3 | 5 |

**CI-11 : RDM Elasticité**

|        |                                             |                                                                                                                                                   |   |   |
|--------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|
| A-11-1 | Théorie des poutres Sollicitations simples. | Etude des contraintes et des déformations dans une section droite. Loi de Hooke. Mise en évidence du module d'Young et du coefficient de Poisson. | 5 | 5 |
| A-11-2 | Sollicitations composées                    | Principe de superposition. Notion de contrainte équivalente en flexion torsion.                                                                   | 5 | 3 |
| A-11-3 | Elasticité.                                 | Mise en œuvre de calculs avec un logiciel de pré dimensionnement utilisant la méthode des éléments finis.                                         | 3 | 4 |



**CI-12 : Etude dynamique des systèmes.**

|        |                                                         |                                                                                                                            |   |   |
|--------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|
| A-12-1 | Principe fondamental appliqué au solide en translation. | Théorèmes de la résultante et du moment.                                                                                   | 3 | 5 |
| A-12-2 | Principe fondamental appliqué au solide en rotation.    | Moment d'inertie d'un solide par rapport à un axe. Théorème du moment. Notions d'équilibrage. Notion de matrice d'inertie. | 5 | 5 |
| A-12-3 | Bilan énergétique des systèmes.                         | Etude des différentes formes d'énergie. Travail et puissance d'une action mécanique. Théorème de l'énergie cinétique.      | 5 | 5 |

**CI-13 : Mécanique des fluides**

|        |                              |                                                                                                                               |   |   |
|--------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|
| A-13-1 | Statique des fluides         | Loi de l'hydrostatique, théorèmes de Pascal, d'Archimède.                                                                     | 4 | 3 |
| A-13-2 | Écoulements unidimensionnels | Principe de conservation de la masse : équation de continuité. Principe de conservation de l'énergie : théorème de Bernoulli. | 5 | 3 |

**CI-14 : Les procédés d'obtention des pièces**

|        |                                                               |                                                                                                |   |   |
|--------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|
| A-14-1 | Etude des procédés par enlèvement de matière                  | Usinage, UGV, électroérosion, usinage chimique...                                              | 3 | 5 |
| A-14-2 | Etude des différents modes de moulage des pièces métalliques. | Moulage par gravité, sous pression, injection, (centrifugation, roto moulage, hydroformage...) | 4 | 5 |
| A-14-3 | Étude de la mise en forme des pièces plastiques.              | Injection, extrusion, extrusion soufflage ...                                                  | 4 | 5 |
| A-14-4 | Etude des procédés par déformation plastique.                 | Forgeage, estampage, matriçage, extrusion, (soufflage), emboutissage, pliage.                  | 4 | 5 |
| A-14-5 | Etude des différents procédés de découpage des tôles.         | Oxycoupage, laser, jet d'eau, poinçonnage                                                      | 4 | 5 |
| A-14-6 | Élaboration des pièces en matériaux composites.               | Etude des procédés utilisant des matériaux chargés de fibres courtes et longues.               | 3 | 5 |

**CI-15 : Les procédés d'assemblage des pièces**

|        |                                          |                                                                             |   |   |
|--------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---|---|
| A-15-1 | Etude des différents procédés de soudage | Etude des procédés avec ou sans apport de matière.                          | 3 | 5 |
| A-15-2 | Etude du collage.                        | Etude des différents types de collage et des performances qui en résultent. | 4 | 5 |
| A-15-3 | Etude des assemblages divers.            | Clipsage, emboîtement, rivetage, clinchage...                               | 4 | 5 |

**3.1.2 Liste des TP et des cahiers des charges**

Si l'on admet que tout objectif de formation dont la somme « complexité-criticité » est supérieure ou égale à 9 nécessite la mise en place d'une démarche inductive et active (à caractère plutôt constructiviste) sous forme de travail pratique, on obtient le tableau suivant, décrivant les TP fondamentaux de l'enseignement en TS CPI (en cas d'incertitude la criticité semble être déterminante).

La colonne Nb indique le nombre de fois qu'il semble raisonnable de multiplier le TP pour qu'il soit efficace (variété de situation, existence de familles de solutions,...). Il relève, lui aussi de décisions collectives de l'équipe pédagogique.

D'autres "tris" pourront être effectués par les équipes pédagogiques, permettant de prendre en compte des particularités locales ou des spécificités de certaines classes. Le choix effectué ici engendre la création de 36 TP pour les deux années de formation. Toute diminution du niveau de tri augmenterait ce nombre qui doit rester compatible avec le temps à consacrer aux travaux pratiques.

Les colonnes supports et activités proposent des éléments clés à mettre en place pour atteindre l'objectif identifié. L'ensemble permet de constituer le cahier des charges de chaque TP.

### Bilan des TP à haut niveau de criticité et de complexité (somme >9)

| Rep<br>Réf | Compétences et<br>savoirs                                                       | Rep<br>TP | Nb | Objectifs<br>opérationnels du<br>TP ou but du TP                                                                                                                                             | Supports                                                                                                                                                                             | Activités                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A-2-3      | Étude de la<br>fonction :<br>Guidage en<br>translation par<br>éléments roulants | TP1       | 2  | Vérifier ou<br>découvrir les<br>relations entre des<br>fonctions<br>techniques à<br>satisfaire et des<br>solutions<br>constructives.                                                         | Matériels industriels<br>utilisant ces<br>fonctions de<br>guidages.                                                                                                                  | Analyse détaillée d'une solution<br>constructive en relation avec un<br>cahier des charges : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Etude de<br/>comportement ;<br/>découverte et/ou<br/>validation des modèles<br/>d'étude</li> <li>▪ Exploitation de logiciels<br/>spécifiques,</li> <li>▪ Identification des<br/>conditions (et donc des<br/>spécifications) requises<br/>pour un bon<br/>fonctionnement.</li> </ul> |
| A-2-5      | Étude de la<br>fonction :<br>Guidage en rotation<br>par éléments<br>roulants    |           |    |                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| A-2-8      | Liaisons<br>mécaniques :<br>comportement et<br>solutions<br>constructives       | TP2       | 1  | Passage du réel<br>au modèle<br>cinématique d'une<br>relation de<br>contact entre<br>surfaces.<br>Comportement<br>local et mobilité<br>d'une liaison et<br>action mécanique<br>transmissible | Systèmes industriels                                                                                                                                                                 | Etude expérimentale du<br>comportement d'une liaison<br>pivot : jeux, géométrie, précision,<br>modélisations cinématiques,<br>statique, lois de répartition des<br>efforts de contact                                                                                                                                                                                                                                     |
| A-3-3      | Transmission par<br>adhérence sans<br>transformation de<br>mouvement            | TP3       | 5  | Etude de la<br>typologie des<br>transformateurs et<br>des solutions<br>constructives<br>associées<br>Lois d'entrée sortie<br>des                                                             | Ce sont des<br>mécanismes<br>industriels<br>représentatifs des<br>familles suivantes : <ul style="list-style-type: none"> <li>- transformateur<br/>à mécanisme<br/>bielle</li> </ul> | Actions possibles : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Démontez et remonter<br/>le mécanisme.</li> <li>▪ Rechercher les<br/>caractéristiques<br/>géométriques utiles à<br/>l'étude cinématique.</li> <li>▪ Etablir les relations</li> </ul>                                                                                                                                                                         |
| A-3-4      | Transmission par<br>obstacle sans<br>transformation de<br>mouvement             |           |    |                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

|       |                                                                |     |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------|----------------------------------------------------------------|-----|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A-3-5 | Transmission avec transformation de mouvement                  |     |   | transformateurs de mouvement<br>Transmission de puissance et rendements                                                                                                                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- manivelle, transformateur à came,</li> <li>- transformateur à mécanisme vis écrou,</li> <li>- réducteur à train épicycloïdal,</li> <li>- transmetteur à courroie.</li> </ul> | <p>entrée/sortie.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Exploiter un outil de simulation informatique pour évaluer ou valider des performances.</li> <li>▪ Ecrire, dessiner, schématiser (éventuellement à main levée) et présenter oralement.</li> </ul>                                                                                                 |
| A-5-1 | Classes et caractéristiques des matériaux                      | TP4 | 2 | Appréhender les différents ordres de grandeurs caractéristiques des principales familles de matériaux.<br>Evolution de la structure micrographique de matériaux traités.<br>Influence des traitements sur les caractéristiques mécaniques<br>Identification des principaux traitements de surface | Une base de donnée couvrant une large gamme de matériaux.<br>Divers échantillons représentatifs de pièces de matériaux différents.                                                                                    | A partir de pièces de matériaux différents et/ou ayant subi des traitements thermiques différents ou des transformations locales ou non par un procédé particulier (soudage, matriçage, moulage, forgeage, etc.), mettre en œuvre les postes d'essais, interpréter les résultats des mesures par rapport aux performances attendues, effectuer des comparaisons. |
| A-5-2 | Traitement des matériaux                                       |     |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| A-5-3 | Interaction fonction - matériau - géométrie – procédé          | TP5 | 1 | Déterminer, à partir du cahier des charges d'une pièce, le ou les matériaux les mieux adaptés.                                                                                                                                                                                                    | Un logiciel d'aide au choix.<br>Pièces industrielles accompagnées de leur cahier des charges.                                                                                                                         | Utilisation d'une base de données croisées matériaux et procédés<br>Identification de critères caractéristiques de choix<br>Etudes de cas réels sur des supports industriels                                                                                                                                                                                     |
| A-6-1 | Décodage d'une spécification.<br>Appropriation du langage ISO. | TP6 | 2 | Assimiler le langage ISO.                                                                                                                                                                                                                                                                         | En initiation : un ensemble de pièces transparentes présentant des défauts exagérés.<br>En approfondissement : machine à mesurer tri dimensionnelle                                                                   | Décodage et explicitation du modèle géométrique GPS et du vocabulaire associé.<br>Décodage de spécifications existantes et métrologie tri dimensionnelles associée                                                                                                                                                                                               |
| A-6-2 | Détermination des spécifications d'une pièce                   | TP7 | 1 | Acquérir une méthodologie d'analyse conduisant à une spécification correcte d'une pièce.                                                                                                                                                                                                          | Un mécanisme réel simple faisant intervenir un petit nombre de pièces.<br>On essaiera de limiter le nombre de surfaces fonctionnelles influentes.                                                                     | Analyse fonctionnelle d'un mécanisme simple réel.<br>Identification et hiérarchisation des contraintes géométriques<br>Construction du graphe des contacts et application d'une méthodologie de spécification d'une pièce                                                                                                                                        |
| A-7-2 | Etude des outils de la créativité.                             | TP8 | 1 | Sensibiliser aux objectifs et aux grandes lignes de la théorie TRIZ                                                                                                                                                                                                                               | Documents formalisés d'aide à la démarche TRIZ                                                                                                                                                                        | Etude de cas sur un produit industriel d'une démarche d'innovation mettant en œuvre un ou deux outils de la démarche TRIZ                                                                                                                                                                                                                                        |

|        |                                                        |                             |   |                                                                                                             |                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------|--------------------------------------------------------|-----------------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A-8-2  | Méthodologies de construction de la maquette numérique | TP9                         | 5 | Mettre en oeuvre différentes méthodes de construction d'une maquette numérique.                             | Modeleur volumique paramétrique.                                                                                                                                              | Etudes de cas de constructions de maquettes numériques de pièces ou d'ensembles simples mettant en œuvre les démarches suivantes : <ul style="list-style-type: none"> <li>• par pièce et dans l'assemblage</li> <li>• par surfaces fonctionnelles</li> <li>• par mode plan</li> <li>• par mode schéma</li> <li>• par association de tous les modes</li> </ul> |
| A-9-2  | Mouvements plans                                       | TP10                        | 4 | Simuler informatiquement le comportement d'un mécanisme, interpréter les résultats obtenus.                 | Les mécanismes qui peuvent ou non être présents dans le laboratoire doivent être définis par des dossiers techniques complets (une bonne variété de supports est nécessaire). | Les travaux pratiques permettront par exemple : recherche de volumes, enveloppes des trajectoires, détermination des valeurs limites d'une caractéristique.                                                                                                                                                                                                   |
| A-9-3  | Etude des chaînes cinématiques.                        | Enseigné en travaux dirigés |   |                                                                                                             |                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| A-10-1 | Modélisation des actions mécaniques.                   | TP 11<br>Associé au TP2     |   | Passage du réel au modèle.<br>Choix d'un modèle d'action mécanique.                                         | Logiciel de simulation associé à un système réel.                                                                                                                             | Expérimentation menant au paramétrage de l'équilibre statique d'un système spatial.<br>Vérification du PFS, association entre le comportement réel et différentes situations de modélisations des efforts.<br>Vérification et visualisation par simulation informatique                                                                                       |
| A-11-1 | Théorie des poutres<br>Sollicitations simples          | TP12                        | 3 | Mise en évidence de la loi de Hooke.<br>Mesure du module d'Young et du coefficient de Poisson.              | Un ensemble de poutre en mousse appareillé permettant de visualiser des déformations visibles à l'œil nu.                                                                     | Mesure des déformations de poutres en mousses de polyuréthane pour traiter :<br>La traction simple<br>La torsion pure<br>La flexion pure.<br>Calcul de E (module d'Young) et de V (Coefficient de Poisson).                                                                                                                                                   |
| A-12-2 | Principe fondamental appliqué au solide en rotation.   | TP13                        | 1 | Notion d'équilibre statique et dynamique. Lien avec les éléments d'inertie donné par le modeleur volumique. | Un rotor tournant déséquilibré dynamiquement muni de deux masselottes réglables.                                                                                              | A partir d'une série d'essais avec différentes disposition de masselottes :<br>Calculer avec un modeleur les éléments d'inertie du rotor.<br>On visera à établir le lien entre le cas où le rotor est équilibré dynamiquement et les valeurs des éléments d'inertie fournies par le modeleur.                                                                 |
| A-12-3 | Bilan énergétique des systèmes.                        | TP14                        | 1 | Identifier l'évolution des transferts d'énergie, les rendements partiels et globaux, les pertes.            | Différents mécanismes transformateurs d'énergies.                                                                                                                             | Relevé des grandeurs permettant la détermination des puissances d'entrées sorties.<br>Evolution des rendements en fonction des points de fonctionnement.<br>Calcul des pertes.                                                                                                                                                                                |

|        |                                                               |      |   |                                                                                                                                           |                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------|---------------------------------------------------------------|------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A-14-2 | Etude des différents modes de moulage des pièces métalliques. | TP15 | 1 | Etude du moulage de pièces métalliques avec comme points clés : la matière d'œuvre, le moule, les cadences, les déchets                   | Logiciel de simulation<br>Visite de sites industriels                                                                                        | A partir d'un produit réel composé de pièces mettant en œuvre différents procédés et des simulations informatiques correspondantes, justifier les formes et géométries de chaque pièce                                                                                                                                                                                                                               |
| A-14-3 | Étude de la mise en forme des pièces plastiques.              | TP16 | 1 | Etude de la production de pièces en matières plastiques avec comme points clés : la matière d'œuvre, le moule, les cadences, les déchets. | Logiciel de simulation<br>Visite de sites industriels                                                                                        | A partir d'une fabrication de pièces en matières plastiques, mettre en évidence les relations suivantes :<br>- relation produit-matériau<br>. forme (charnière, clipsage ...)<br>- relations produit-procédé<br>. point(s) d'injection<br>. plan de joint<br>. dépouilles<br>. noyau(x)<br>- relation produit-processus<br>. temps de cycle<br>. multi-empreintes<br>- relation produit-environnement<br>. recyclage |
| A-14-4 | Etude des procédés par déformation plastique.                 | TP17 | 3 | Etude :<br>-du forgeage<br>-de l'emboutissage<br>-du pliage                                                                               | Matériel : mini presse hydraulique instrumentée, flancs circulaires (matériaux différents : acier, aluminium ...)<br>Logiciel de simulation. | A partir d'un produit réel composé de pièces mettant en œuvre différents procédés et des simulations informatiques correspondantes, justifier les formes et géométries de chaque pièce.<br>Mise en évidence de l'expansion et du retreint lors d'une opération d'emboutissage/formage<br>Mise en évidence de la perte au pli<br>Mise en évidence du fibrage des pièces forgées.                                      |
| A-14-5 | Etude des différents procédés de découpage des tôles.         | TP18 | 1 | Poinçonnage, grignotage, découpe laser, découpe jet d'eau.                                                                                |                                                                                                                                              | A partir d'un produit réel composé de pièces mettant en œuvre différents procédés et des simulations informatiques correspondantes, justifier les formes et géométries de chaque pièce                                                                                                                                                                                                                               |

|        |                        |      |   |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------|------------------------|------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A-15-2 | Etude du collage.      | TP19 | 1 | Mise en évidence des paramètres influents sur les caractéristiques d'une liaison par adhésifs.<br>Mise en œuvre d'une liaison par adhésifs.                                                                                                                       | Matériel : machine d'essais et éprouvettes ou sur systèmes réels. | 1) sur une machine d'essais, appareillée, avec système d'acquisition ou non, mettre œuvre une série d'essais sur éprouvettes axe/bague, mettant en évidence les paramètres suivants :<br>- pour un adhésif donné, des caractéristiques géométriques et surfaciques constantes, analyser l'influence de la nature du matériau et des conditions de collage,<br>- pour un adhésif et un matériau donnés, étudier l'influence du jeu et de la rugosité sur les performances de la liaison.<br>2) à partir de systèmes réels valider une ou plusieurs solutions par collage. |
| A-15-3 | Etudes des assemblages | TP20 | 1 | - mettre en œuvre un procédé d'assemblage de composants mécaniques (roulements, bagues, engrenages, etc....) en liaison complète (emmanchement ou frettage),<br>- apprécier les particularités de la mise en œuvre ainsi que les performances du résultat obtenu. |                                                                   | A partir de couples de pièces à assembler par emmanchement formant des "serrages" différents, mettre en œuvre le procédé d'assemblage établi à l'aide de l'outillage adapté.<br>Apprécier les performances qualitatives de l'assemblage et effectuer des comparaisons.                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

### 3.2 Répartitions (années et disciplines)

En première année, on peut mettre en œuvre un minima de vingt travaux pratiques de construction mécanique et de mécanique appliquée.

Les deux séries TP10 et TP1 permettent, dès le début de l'année scolaire, d'approfondir puis de développer les connaissances fondamentales, socle nécessaire à une formation de technicien supérieur de conception.

En seconde année, six travaux pratiques, au minimum de construction mécanique et de mécanique appliquée peuvent être mis en œuvre, les autres activités de travaux pratiques étant directement liées à l'Epreuve Professionnelle de Synthèse.

La liste qui suit propose la composition d'un noyau dur des travaux pratiques à mettre en œuvre durant les deux années, sachant que la mécanique doit être clairement placée au service de la construction dans une logique de mécanique industrielle.

Ce guide ne prétend pas désigner des supports existants ; certains sont disponibles aujourd'hui, d'autres doivent être créés ou modifiés. Il est nécessaire de faire, au niveau des académies et des établissements, un choix précis et cohérent des produits retenus ou à développer.

L'organisation pédagogique souhaitable en cycles de quatre semaines impose l'achat de certains supports en deux exemplaires, particulièrement dans le cadre de l'analyse des liaisons et des mécanismes.

Le choix des supports et les décisions organisationnelles relevant de l'équipe enseignante devra tenir compte des remarques suivantes :

- les cycles de travaux pratiques courts,
- le nombre de thèmes abordés (ou de centres d'intérêt) par cycle très réduit,
- pour un apprentissage donné, plusieurs supports utilisables (principe de diversité, de répétition, de redondance), Cela induit que tous les étudiants n'utiliseront pas systématiquement les mêmes systèmes techniques supports pourvu que les apprentissages visés soient les mêmes.
- l'utilisation des supports peut être adaptée à plusieurs travaux pratiques,
- le cours doit être rapproché du cycle de travaux pratiques correspondant,
- la gestion des antériorités doit être maîtrisée.

Le tableau ci-dessous propose une répartition des travaux pratiques sur les deux années scolaires. Il n'est donné qu'à titre indicatif, car certains TP peuvent être plus multipliés et d'autres peuvent être créés.

| Disciplines            | Construction                                   | Mécanique            | Industrialisation                  |
|------------------------|------------------------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| 1 <sup>ère</sup> année | TP1<br>TP2<br>TP3<br>TP4<br>TP6<br>TP9<br>TP20 | TP10<br>TP11<br>TP12 | TP4<br>TP6<br>TP15<br>TP16<br>TP20 |
| 2 <sup>ème</sup> année | TP5<br>TP7<br>TP8<br>TP19                      | TP13<br>TP14         | TP17<br>TP18<br>TP19               |

### 3.3 Bilan des TP par discipline

Le tableau ci-après propose le bilan de l'ensemble des TP proposés ci-dessus classés par discipline d'enseignement. Si cette approche est plus claire pour les professeurs, il convient de ne pas oublier que de nombreux travaux pratiques n'ont de sens que dans une approche pluri disciplinaire forte et indispensable. Il conviendra donc de préparer ces TP en étroite collaboration entre professeurs de construction et d'industrialisation afin que tous soient parfaitement informés de leurs objectifs et de leurs contenus.

| Rep. TP                                 | Nb | Cahier des charges du TP                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Construction mécanique</b>           |    |                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| TP1                                     | 3  | Etude expérimentale des montages de roulements, différents types, arrêts axiaux, précontrainte                                                                                                                                                                    |
| TP2                                     | 1  | Etude expérimentale du comportement d'une liaison pivot : jeux, géométrie, précision, modélisations cinématiques, statique, lois de répartition des efforts de contact                                                                                            |
| TP3                                     | 5  | Typologie des transformateurs et des solutions constructives associées. Lois d'entrée sortie des transformateurs de mouvement. Transmission de puissance et rendements                                                                                            |
| TP4                                     | 2  | Essais mécaniques de base, traction, dureté, résilience, fluage. Ordres de grandeurs caractéristiques par principales familles de matériaux                                                                                                                       |
| TP5                                     | 1  | Utilisation d'une base de données croisées matériaux et procédés. Identification de critères caractéristiques de choix. Etudes de cas réels sur des supports industriels                                                                                          |
| TP6                                     | 1  | Décodage et explicitation du modèle géométrique GPS et du vocabulaire associé. Décodage de spécifications existantes et métrologie tri dimensionnelles associée                                                                                                   |
| TP7                                     | 1  | Analyse fonctionnelle d'un mécanisme simple réel. Identification et hiérarchisation des contraintes géométriques. Construction du graphe des contacts et application d'une méthodologie de spécification d'une pièce                                              |
| TP8                                     | 1  | Etude de cas sur un produit industriel d'une démarche d'innovation mettant en œuvre un ou deux outils de la démarche TRIZ                                                                                                                                         |
| TP9                                     | 5  | Etudes de cas de constructions de maquettes numériques de pièces ou d'ensembles simples mettant en œuvre différentes démarches : par pièce et dans l'assemblage, par surfaces fonctionnelles, par mode plan, par mode schéma, par association de tous les modes.  |
| TP19                                    | 1  | A partir d'un produit réel mettant en œuvre du collage et à l'aide d'expérimentations, justifier le choix de ce mode d'assemblage et ses caractéristiques de mise en œuvre                                                                                        |
| TP20                                    | 1  | Etude des assemblages frettés.                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Mécanique</b>                        |    |                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| TP10                                    | 4  | simuler informatiquement le comportement d'un mécanisme, interpréter les résultats obtenus.                                                                                                                                                                       |
| TP11                                    | 1  | Expérimentation menant au paramétrage de l'équilibre statique d'un système spatial. Vérification du PFS, association entre le comportement réel et différentes situations de modélisations des efforts. Vérification et visualisation par simulation informatique |
| TP12                                    | 3  | Théorie des poutres<br>Sollicitations simples. Mesures sur poutres en mousses.                                                                                                                                                                                    |
| TP13                                    | 1  | Notion d'équilibrage statique et dynamique. Lien avec les éléments d'inertie donné par le modèle volumique.                                                                                                                                                       |
| TP14                                    | 1  | A partir de mécanismes transformateurs d'énergies différentes (musculature, éolienne), identifier l'évolution des transferts d'énergie, les rendements partiels et globaux, les pertes.                                                                           |
| <b>Industrialisation et fabrication</b> |    |                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| TP4                                     | 1  | Evolution de la structure micrographique de matériaux traités. Influence des traitements sur les caractéristiques mécaniques Identification des principaux traitements de surface                                                                                 |
| TP6                                     | 1  | Décodage et explicitation du modèle géométrique GPS et du vocabulaire associé. Décodage de spécifications existantes et métrologie tri dimensionnelles associée.                                                                                                  |
| TP15                                    | 1  | Etude des différents modes de moulage des pièces métalliques.                                                                                                                                                                                                     |
| TP16                                    | 1  | Étude de la mise en forme des pièces plastiques                                                                                                                                                                                                                   |



---

|             |   |                                                                                                                                             |
|-------------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>TP17</b> | 3 | Etude des procédés par déformation plastique.                                                                                               |
| <b>TP18</b> | 1 | Etude des différents procédés de découpage des tôles.                                                                                       |
| <b>TP19</b> | 1 | Mise en évidence des paramètres influents sur les caractéristiques d'une liaison par adhésifs.<br>Mise en œuvre d'une liaison par adhésifs. |
| <b>TP20</b> | 1 | Etude des assemblages frettés.                                                                                                              |

## Chapitre 4 : La certification

### 4.1 Recommandations aux auteurs de sujets : épreuve E4 « Motorisation des systèmes »

#### Situation

Le candidat est confronté à des problématiques liées à l'intégration d'une motorisation dans un système industriel à partir d'un cahier des charges qui définit les performances attendues pour la partie opérative.

#### Support

Le support technique d'étude est un système électromécanique industriel authentique. Il est représentatif des technologies actuelles.

Son dossier technique met en situation le système dans son environnement d'utilisation, indique ses performances, les éléments déterminants de son cahier des charges et toutes les données utiles à la résolution des problèmes posés.

#### Le questionnement

Le sujet est élaboré par une équipe constituée d'un professeur de physique appliquée et d'un professeur d'électrotechnique.

Le questionnement, fondé sur la démarche d'intégration d'une motorisation, s'articulera autour des problématiques de la conversion d'énergie et de l'acquisition d'information.

#### Exemple de trame possible

##### – Conversion énergétique –

La partie opérative et les performances attendues (profil de vitesse, service de fonctionnement, environnement...) étant définies partiellement ou complètement :

- analyser certaines caractéristiques du comportement cinématique et dynamique (montée en vitesse du moteur, évaluation de la réversibilité de fonctionnement...) afin d'évaluer les contraintes imposées à la machine d'entraînement et à son module de commande ;
- rechercher et proposer un principe de solution en articulant cette recherche sur une bonne maîtrise des lois de la physique ;
- repérer les grandeurs caractéristiques déterminantes pour choisir une solution moto-variateur dans un catalogue constructeur.

##### – Acquisition d'informations –

Certaines caractéristiques physiques à acquérir étant définies :

- analyser les contraintes associées à la prise d'information (environnement, précision, plage de variation...) ;
- rechercher et proposer un principe de solution en exploitant les lois de la physique ;
- repérer les grandeurs caractéristiques déterminantes pour choisir un capteur dans un catalogue constructeur.

## **4.2 Recommandations aux auteurs de sujets : épreuve E5 « Etude de produits industriels »**

### **4.2.1 Sous-épreuve E51 : « Modélisation et comportement des produits industriels »**

#### **Situation**

Le candidat est placé dans une situation correspondant à certaines activités professionnelles de conception préliminaire ou de conception détaillée.

Il sera essentiellement confronté à des problématiques liées à la modélisation, à l'exploitation des modèles pour le calcul ou la simulation. Il devra apporter des propositions pour le pré-dimensionnement de certains éléments de mécanisme.

#### **Support**

Le support technique d'étude est un produit industriel authentique. Bien de consommation ou bien d'équipement, c'est un système mécanique ou électromécanique représentatif des technologies actuelles.

Son dossier technique met en situation le produit dans son environnement d'utilisation, indique ses performances, les éléments déterminants de son cahier des charges et toutes les données utiles à la résolution des problèmes posés.

La complexité du système devra permettre une évaluation des compétences souhaitées sans risquer d'égarer le candidat dans une trop longue et difficile mise en contexte. Les documents de présentations devront utiliser tous les moyens offerts par l'imagerie 3D pour simplifier la compréhension du mécanisme.

#### **Le questionnement**

Chaque partie du sujet visera un objectif lié à une préoccupation technique authentique. Les questions conduiront les candidats à mettre en oeuvre tout ou partie des compétences liées à la modélisation, au traitement, à l'exploitation des résultats.

#### **La modélisation**

- Proposer, justifier, modifier, comparer les modèles adoptés pour la description des solutions constructives du système réel ;
- Proposer, justifier des modèles d'étude qui permettent de préparer la mise en place des conditions de calcul (cinématique, statique, dynamique, résistance des matériaux et élasticité) ;
- Préciser les paramètres caractéristiques d'une modélisation (hypothèses, variations acceptables, conditions limites) ;
- ...

#### **Le traitement**

- Exploiter les lois de comportement statique, cinématique, dynamique, ... et les outils et méthodes de résolution.
- Conduire une démarche de pré-dimensionnement de composants.

#### **L'exploitation de résultats**

- Mener une analyse critique des résultats obtenus,
- Interpréter les résultats d'une simulation proposés par un logiciel,
- Associer des décisions constructives aux résultats obtenus,
- Valider un comportement au regard d'un cahier des charges fonctionnel,
- Valider une proposition de solution (un principe, une géométrie, une architecture...),

- ...

Si la plupart des questions seront formulées pour que le candidat soit conduit à prendre des initiatives débouchant principalement sur des réponses méthodologiques la connaissance des ordres de grandeur sera fréquemment testée au niveau des réponses chiffrées.

### **Nature des travaux demandés**

Pour atteindre les objectifs de chaque partie du sujet le candidat devra donc effectuer des tâches de différentes natures :

- des commentaires et des propositions rédigées en utilisant un vocabulaire technique précis et un langage adapté ;
- des schématisations et éventuellement des croquis ;
- des calculs pour des résolutions simples qui, en entreprise, ne demanderaient pas le recours aux outils informatiques ;
- des relevés d'informations à partir de graphes, de tableaux de données et de résultats obtenus avec des logiciels de simulation ;
- du décodage de plans 2D, de schémas ...
- 

### **Mise en forme du sujet**

Les sujets ne comporteront pas plus de 20 pages (ramenées au format A4). Ils seront organisés de telle sorte que les informations soient regroupées de façon claire.

Les documents seront au format A4 ou A3.

## **4.2.2 Sous-épreuve E52 : « Analyse et spécification de produits »**

### **Situation**

Le candidat est placé dans une situation correspondant à certaines activités professionnelles de constitution du dossier d'étude, de conception détaillée et de constitution du dossier de définition de produit.

Il sera essentiellement confronté à des problématiques liées au choix de solutions constructives, à leurs spécifications et il devra engager la définition de certains éléments.

### **Support**

Le support technique d'étude est un produit industriel authentique. Bien de consommation ou bien d'équipement, c'est un système mécanique ou électromécanique représentatif des technologies actuelles. Le support utilisé pour la sous-épreuve E52 est différent de celui utilisé pour l'épreuve E51.

Son dossier technique met en situation le produit dans son environnement d'utilisation, indique ses performances, les éléments déterminants de son cahier des charges et toutes les données utiles à la résolution des problèmes posés.

La complexité du système devra permettre une évaluation des compétences souhaitées sans risquer d'égarer le candidat dans une trop longue et difficile mise en contexte. Les documents de présentations devront utiliser tous les moyens offerts par l'imagerie 3D pour aider à la compréhension du mécanisme.

## Le questionnement

Chaque partie du sujet visera un objectif lié à une préoccupation technique. Les questions conduiront les candidats à mettre en oeuvre les compétences suivantes :

- décrire, comparer des solutions constructives ;
- justifier des solutions constructives ;
- définir des spécifications de fonctionnement ;
- exploiter, afin de justifier ou de comparer, les résultats apportés par un logiciel de simulation de comportement ;
- exploiter, afin de justifier ou de comparer, les informations fournies par des logiciels d'aide à la décision (matériaux, procédés...) ;
- proposer un matériau, un procédé de fabrication en cohérence avec les particularités du produit et les contraintes liées au coût ;
- réaliser des dessins de définition cotés et spécifiés en justifiant éventuellement quelques démarches ;
- ...

## Nature des travaux demandés

Pour atteindre les objectifs de chaque partie du sujet le candidat devra donc effectuer des tâches de différentes natures :

- des commentaires et des propositions rédigées en utilisant un vocabulaire technique précis et un langage adapté ;
- des descriptions à l'aide des outils de l'analyse fonctionnelle ;
- des croquis à main levée, proportionnés et légendés (croquis perspectifs éventuellement) ;
- des relevés d'informations à partir de graphes, de tableaux de données et de résultats obtenus avec des logiciels de simulation ;
- du décodage de plans 2D, de schémas ... ;
- des tracés de chaînes de cotes ;
- des calculs de détermination quantitative des spécifications ;
- des cotations et spécifications complètes ou partielles de pièces.

## Mise en forme du sujet

Les sujets ne comporteront pas plus de 20 pages (ramenées au format A4). Ils seront organisés de telle sorte que les informations soient regroupées de façon claire.

Les documents de présentation du sujet seront au format A4, A3 ou A2. Les documents réponses se limiteront au format A4 ou A3.

Il est donc nécessaire, pour cette sous-épreuve, de mettre à la disposition du candidat une table dont la taille permet de lire confortablement un format A2 et de travailler à côté sur un format A3. Il n'est pas utile que cette table soit instrumentée.

### 4.3 L'épreuve professionnelle de synthèse : épreuve E6

Les documents et le livret d'évaluation présentés dans les pages suivantes visent à faciliter l'harmonisation des pratiques d'évaluation des candidats.

Ces fiches sont diffusées par les services des examens responsables de l'organisation du BTS. Leurs mises à jour éventuelles seront assurées par l'inspection générale.

#### **4.3.1 Sous-épreuve E61 : « Soutenance du rapport de stage industriel »**

La fiche d'appréciation du stage en entreprise indique les activités confiées au stagiaire. Elle présente également une évaluation des attitudes de l'étudiant face aux problèmes qui lui sont posés par l'entreprise durant son stage. Cette appréciation est établie conjointement par les professeurs assurant le suivi et les tuteurs de l'entreprise.

Cette fiche sera jointe au rapport de stage.

#### **4.3.2 Sous-épreuve E62 : « présentation du dossier de projet »**

##### **Modalités générales**

Comme le précise le texte réglementaire, deux temps forts caractérisent cette sous-épreuve.

- La phase de travail sur le site de formation, avec les trois revues de projet organisées à des dates fixées à l'avance par l'équipe pédagogique. Les dates des revues de projet font partie intégrante du contrat individuel passé avec chacun des étudiants.
- La phase de présentation du projet, d'une durée totale de 1 heure décomposée en 40 minutes d'exposé et 20 minutes d'échanges avec le jury.

##### **Les grilles d'évaluation**

Les grilles d'évaluation prennent en compte les compétences et savoir-faire associés, listés dans le référentiel.

La grille d'évaluation des revues de projet, document unique pour les trois revues, est destinée à recueillir les observations faites lors des différentes revues de projet. Elle permet de dégager un profil général du candidat et indique la proposition de note de l'équipe pédagogique.

Afin de ne pas influencer la note de soutenance donnée par le jury, cette fiche lui sera remise en fin d'interrogation.

##### **La soutenance**

Durant la soutenance, le dialogue s'établira à partir d'un questionnement visant à l'approfondissement de points abordés dans le dossier ou lors de l'exposé présenté par le candidat. Les contraintes de conception données à l'étudiant dans le contrat individuel ne seront pas remises en question. Les investigations liées à la robustesse de la maquette numérique ne sauraient constituer le centre du questionnement.

##### **Le dossier de projet**

Le thème devant être construit dans une démarche de conception collaborative, sa cohérence doit aussi transparaître dans le dossier associé. Il est donc demandé de créer un seul dossier par projet.

Ce dossier comporte :

- une partie commune clairement identifiée ;
- les parties concernant les études personnelles mises en évidence par les contrats individuels.

Les documentations techniques des fournisseurs de composants standard ne doivent en aucun cas être intégrées dans le dossier. Seules des informations de renvoi à ces

documents devront permettre de repérer le lien aux ressources (ces documents pourront, si nécessaire, être présentés lors de la soutenance).

### Les étapes et les acteurs

Le tableau ci-dessous rappelle les étapes caractéristiques du déroulement du projet et de son évaluation.

|               | Etapes                                                                                                                                                 | Acteurs                                                                  | Documents                                                     |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Septembre     | Mise au point et envoi du <b>dossier préliminaire*</b> du projet de produit et de la fiche de présentation du projet                                   | Professeurs de la section                                                | Fiche de présentation du projet                               |
| Début octobre | Lecture du dossier préliminaire<br>Approbation (ou refus) du projet et de son organisation.<br>Renvoi des fiches de présentation du projet complétées. | IA-IPR en charge de la commission                                        |                                                               |
| Fin octobre   | Revue critique de spécification                                                                                                                        | Etudiants et professeurs de la section                                   | Grille d'évaluation des revues de projet                      |
| Début janvier | Revue de conception préliminaire                                                                                                                       | Etudiants et professeurs de la section                                   |                                                               |
| Fin janvier   | Validation des contrats individuels                                                                                                                    | Commission de validation des contrats individuels présidée par l'IA-IPR. | Livret d'évaluation : fiche descriptive du contrat individuel |
| Avril         | Revue critique de conception générale et détaillée                                                                                                     | Etudiants et professeurs de la section                                   | Grille d'évaluation des revues de projet                      |
| juin          | Soutenance                                                                                                                                             | Candidats et jury                                                        | Livret d'évaluation : grille d'évaluation de la soutenance    |

\* Le dossier préliminaire comporte :

- o l'expression initiale du besoin ;
- o le nombre d'étudiants travaillant sur le projet ;
- o les éléments fonctionnels permettant d'apprécier le volume et la difficulté des problèmes techniques à résoudre ;
- o le planning prévisionnel des activités de conception – préindustrialisation, notamment les dates prévisionnelles des revues de projet ;
- o la liste des logiciels disponibles pour le projet.

Académie :  
Etablissement :

**B.T.S CONCEPTION DE PRODUITS INDUSTRIELS**

Session :

**Sous-épreuve E61 « Soutenance du rapport de stage industriel »**

**Fiche d'appréciation du stage en entreprise**

Nom de l'entreprise :

Téléphone :

Nom du tuteur ou maître de stage :

Nom et prénom de l'étudiant :

Dates du stage :

**Description des tâches confiées au stagiaire**  
(joindre éventuellement un récapitulatif plus complet)

Appréciation sur le comportement professionnel.

|                                   | Insuf. | Moy. | Bien | Très bien | Commentaires éventuels |
|-----------------------------------|--------|------|------|-----------|------------------------|
| Pertinence des actions techniques |        |      |      |           |                        |
| Progrès dans l'autonomie          |        |      |      |           |                        |
| Ponctualité                       |        |      |      |           |                        |
| Assiduité                         |        |      |      |           |                        |
| Motivation                        |        |      |      |           |                        |
| Initiative                        |        |      |      |           |                        |
| Capacités relationnelles          |        |      |      |           |                        |
| Respect des consignes             |        |      |      |           |                        |
| Capacité d'organisation           |        |      |      |           |                        |

Appréciation globale :

NOMS et SIGNATURES



Académie :  
Etablissement :

B.T.S CONCEPTION DE PRODUITS INDUSTRIELS

Session :

**Sous-épreuve E61 « Soutenance du rapport de stage industriel»**

**GRILLE D'EVALUATION DE LA SOUTENANCE**

Nom et prénom de l'étudiant :

N° :



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |  |  |  |  |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|
| Appréciation du niveau de maîtrise des compétences particulières suivantes : <ul style="list-style-type: none"><li>- Identifier les moyens techniques disponibles</li><li>- Intégrer les contraintes de la propriété industrielle</li><li>- Intégrer une action d'étude dans une démarche qualité</li><li>- Contribuer à l'archivage, à la traçabilité d'une étude.</li></ul> |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |  |  |  |  |  |
| Les <b>activités</b> confiées sont menées de façon satisfaisante                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |  |  |  |  |  |
| La <b>communication orale</b> , durant la phase de présentation du rapport de stage, est claire et structurée. Les outils d'aide à la présentation sont judicieusement utilisés. Les échanges, durant l'entretien, sont interactifs et argumentés.                                                                                                                            |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |  |  |  |  |  |
| Le <b>rapport</b> de stage est structuré, les informations sont hiérarchisées et pertinentes. L'expression écrite et les productions graphiques sont de qualité.                                                                                                                                                                                                              |  |  |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |  |  |  |  |  |

Appréciation globale :

**Note : / 20**

DATE :

NOM et SIGNATURE des évaluateurs

Académie :  
Etablissement :

**B.T.S CONCEPTION DE PRODUITS INDUSTRIELS**

Session :

**Sous-épreuve E62 « présentation du dossier de projet »**

**Fiche de présentation du projet**

Dénomination du projet :

Nombre d'étudiants :

ENTREPRISE :

Secteur d'activité :

Adresse :

Chiffre d'affaire :

Effectif :

**Interlocuteur :**

Fonction :

Tel / Fax / E-mail :

**Expression du besoin :**

Typologie du projet :

Produit ☐

Prototype ☐

Machine spéciale ☐

L'étude du dossier préliminaire du projet de produit a permis d'apprécier en particulier : les compétences mises en jeu pour la réalisation du projet, le niveau de difficulté, la quantité de travail et l'organisation prévisionnelle.

Le projet est

**Accepté** ☐

**Accepté sous réserve** ☐

**Refusé** ☐

Recommandations :

Date :

L'IA-IPR :

# **B.T.S CONCEPTION DE PRODUITS INDUSTRIELS**

Session :

Académie :

Etablissement :

Nom et prénom du candidat :

## **LIVRET D'EVALUATION DE LA SOUS-EPREUVE E62**

### **« Présentation du dossier de projet »**

Dénomination du projet

Nombre d'étudiants concernés par le projet :

# FICHE DESCRIPTIVE DU CONTRAT INDIVIDUEL

| CONTRAT INDIVIDUEL                |                                                                                                                                    |                           |                           | ELEMENTS POUR L'EVALUATION             |                                                                                                                             |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                   | TACHES professionnelles                                                                                                            | Poids de la tâche (0 à 3) | CONTRAINTES de conception | à cocher                               | COMPETENCES évaluées                                                                                                        |
| Définition des limites de l'étude | Décodage d'un cahier des charges                                                                                                   |                           |                           | <b>C01</b><br><input type="checkbox"/> | Décoder un cahier des charges fonctionnel.                                                                                  |
|                                   | Reformulation d'un besoin                                                                                                          |                           |                           | <b>C02</b><br><input type="checkbox"/> | Recenser les contraintes de l'étude.                                                                                        |
|                                   | Elaboration de tout ou partie d'un cahier des charges fonctionnel.                                                                 |                           |                           | <b>C03</b><br><input type="checkbox"/> | Reformuler et synthétiser un cahier des charges fonctionnel résultant d'une verbalisation écrite ou orale.                  |
| Dossier d'étude                   | Recensement de la logistique de production                                                                                         |                           |                           | <b>C06</b><br><input type="checkbox"/> | Rechercher une information dans une documentation technique, dans un réseau local ou à distance.                            |
| Conception préliminaire           | Recherche de principes de solutions                                                                                                |                           |                           | <b>C05</b><br><input type="checkbox"/> | Dégager les principes qui régissent les solutions techniques.                                                               |
|                                   | Recherche de solutions constructives et élaboration de la maquette numérique de conception préliminaire                            |                           |                           | <b>C09</b><br><input type="checkbox"/> | Rechercher et expliciter un principe de solution.                                                                           |
|                                   | Recherche de solutions constructives et élaboration de la maquette numérique de conception préliminaire                            |                           |                           | <b>C10</b><br><input type="checkbox"/> | Proposer, ou expliciter sous forme de croquis ou de schéma, commenté, légendé, une solution constructive.                   |
|                                   | Prise en compte des délais                                                                                                         |                           |                           | <b>C11</b><br><input type="checkbox"/> | Élaborer la maquette numérique de conception préliminaire à l'aide d'un modèleur volumique, paramétrable, variationnel.     |
|                                   | Argumentation au sein d'un groupe pour la validation de l'étude préliminaire                                                       |                           |                           | <b>C14</b><br><input type="checkbox"/> | Estimer la durée d'étude attendue en phase avec le jalonnement d'un projet et recenser les éléments du coût.                |
| Conception détaillée              | Conception collaborative et prise en compte des contraintes de conception partagée                                                 |                           |                           | <b>C12</b><br><input type="checkbox"/> | Argumenter, au sein d'un groupe projet, les solutions techniques et économiques proposées en exploitant les outils adaptés. |
|                                   | Conception collaborative et prise en compte des contraintes de conception partagée                                                 |                           |                           | <b>C15</b><br><input type="checkbox"/> | Choisir un composant en exploitant une base de données industrielle, mécanique ou électrique.                               |
|                                   | Prise en compte des exigences de la vie du produit (maintenabilité, réparabilité, sécurité, ergonomie, esthétique, élimination...) |                           |                           | <b>C21</b><br><input type="checkbox"/> | Intégrer les exigences ou propositions d'un spécialiste d'un procédé.                                                       |
|                                   | Prise en compte des exigences de la vie du produit (maintenabilité, réparabilité, sécurité, ergonomie, esthétique, élimination...) |                           |                           | <b>C28</b><br><input type="checkbox"/> | Choisir un mode de communication approprié. Communiquer synthétiquement par courrier électronique.                          |
|                                   | Réalisation du modèle numérique 3D de l'étude                                                                                      |                           |                           | <b>C22</b><br><input type="checkbox"/> | Intégrer les exigences de la vie du produit.                                                                                |
| Dossier définition                | Élaboration des représentations graphiques définitives                                                                             |                           |                           | <b>C16</b><br><input type="checkbox"/> | Générer le modèle numérique en établissant un paramétrage fonctionnel permettant la construction de géométries robustes.    |
|                                   | Élaboration des représentations graphiques définitives                                                                             |                           |                           | <b>C24</b><br><input type="checkbox"/> | Élaborer le modèle numérique définitif et les représentations graphiques dérivées.                                          |

Conclusion et recommandations de la commission de validation :

Date et signatures :

### EVALUATION DE LA SOUTENANCE DU PROJET

|                                                                                                                                                                                                                          |      |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--|
| Niveau de maîtrise des <b>compétences</b> définies dans le contrat individuel                                                                                                                                            | / 50 |  |
| La <b>communication</b> orale, durant la phase de présentation du projet, est claire et structurée. Les outils d'aide à la présentation sont judicieusement utilisés. Les échanges, durant l'entretien, sont argumentés. | / 10 |  |
| Le <b>dossier de projet</b> est structuré, les informations sont hiérarchisées et pertinentes. L'expression écrite et les productions graphiques sont de qualité.                                                        | / 10 |  |

**Note de soutenance /70 :**

DATE :

NOM et SIGNATURE des évaluateurs

## **BILAN DES EVALUATIONS DE LA SOUS EPREUVE E62**

Report de la note de suivi de projet :

Report de la note de soutenance :

Total / 100

Note finale / 20

Académie :  
Etablissement :

**B.T.S CONCEPTION DE PRODUITS INDUSTRIELS**  
Session :

Nom et prénom de l'étudiant :

Sous-épreuve E62 « présentation du dossier de projet »

Dénomination du projet :

| TACHES professionnelles           |                                                                                                                                    | à cocher                        | COMPETENCES évaluées                                                                                                     | Appréciation                              |        |                          |   |   |  |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------|--------------------------|---|---|--|
|                                   |                                                                                                                                    |                                 |                                                                                                                          | Qualité technique                         |        | Implication et dynamisme |   |   |  |
| Définition des limites de l'étude | Décodage d'un cahier des charges                                                                                                   | C01<br><input type="checkbox"/> | Décoder un cahier des charges fonctionnel.                                                                               | Revue de spécification                    | DATE : | A                        |   | A |  |
|                                   | Reformulation d'un besoin                                                                                                          | C02<br><input type="checkbox"/> | Recenser les contraintes de l'étude.                                                                                     |                                           |        | B                        |   | B |  |
|                                   | Elaboration de tout ou partie d'un cahier des charges fonctionnel.                                                                 | C03<br><input type="checkbox"/> | Reformuler et synthétiser un cahier des charges fonctionnel résultant d'une verbalisation écrite ou orale.               |                                           |        | C                        |   | C |  |
|                                   |                                                                                                                                    |                                 | D                                                                                                                        |                                           |        |                          | D |   |  |
|                                   |                                                                                                                                    |                                 | E                                                                                                                        |                                           |        |                          | E |   |  |
| Dossier d'étude                   | Recensement de la logistique de production                                                                                         | C06<br><input type="checkbox"/> | Rechercher une information dans une documentation technique, dans un réseau local ou à distance.                         | Revue de conception préliminaire          | DATE : |                          |   |   |  |
| Conception préliminaire           | Recherche de principes de solutions                                                                                                | C05<br><input type="checkbox"/> | Dégager les principes qui régissent les solutions techniques.                                                            |                                           |        | A                        |   | A |  |
|                                   |                                                                                                                                    | C09<br><input type="checkbox"/> | Rechercher et expliciter un principe de solution.                                                                        |                                           |        | B                        |   | B |  |
|                                   | Recherche de solutions constructives et élaboration de la maquette numérique de conception préliminaire                            | C10<br><input type="checkbox"/> | Proposer, ou expliciter sous forme de croquis ou de schéma, commenté, légendé, une solution constructive.                |                                           |        | C                        |   | C |  |
|                                   |                                                                                                                                    | C11<br><input type="checkbox"/> | Élaborer la maquette numérique de conception préliminaire à l'aide d'un modeleur volumique, paramétrable, variationnel.  |                                           |        | D                        |   | D |  |
|                                   | Prise en compte des délais                                                                                                         | C14<br><input type="checkbox"/> | Estimer la durée d'étude attendue en phase avec le jalonnement d'un projet et recenser les éléments du coût.             |                                           |        | E                        |   | E |  |
|                                   | Argumentation au sein d'un groupe pour la validation de l'étude préliminaire                                                       | C12<br><input type="checkbox"/> | Argumenter, au sein d'un groupe, les solutions techniques et économiques proposées avec des outils adaptés.              | Revue de conception générale et détaillée | DATE : |                          |   |   |  |
| Conception détaillée              | Conception collaborative et prise en compte des contraintes de conception partagée                                                 | C15<br><input type="checkbox"/> | Choisir un composant en exploitant une base de données industrielle, mécanique ou électrique.                            |                                           |        | A                        |   | A |  |
|                                   |                                                                                                                                    | C21<br><input type="checkbox"/> | Intégrer les exigences ou propositions d'un spécialiste d'un procédé.                                                    |                                           |        | B                        |   | B |  |
|                                   | Prise en compte des exigences de la vie du produit (maintenabilité, réparabilité, sécurité, ergonomie, esthétique, élimination...) | C28<br><input type="checkbox"/> | Choisir un mode de communication approprié. Communiquer synthétiquement par courrier électronique.                       |                                           |        | C                        |   | C |  |
|                                   |                                                                                                                                    | C22<br><input type="checkbox"/> | Intégrer les exigences de la vie du produit.                                                                             |                                           |        | D                        |   | D |  |
|                                   | Réalisation du modèle numérique 3D de l'étude                                                                                      | C16<br><input type="checkbox"/> | Générer le modèle numérique en établissant un paramétrage fonctionnel permettant la construction de géométries robustes. |                                           |        | E                        |   | E |  |
| Dossier définition                | Élaboration des représentations graphiques définitives                                                                             | C24<br><input type="checkbox"/> | Élaborer le modèle numérique définitif et les représentations graphiques dérivées.                                       |                                           |        |                          |   |   |  |

Nom et signature des professeurs:

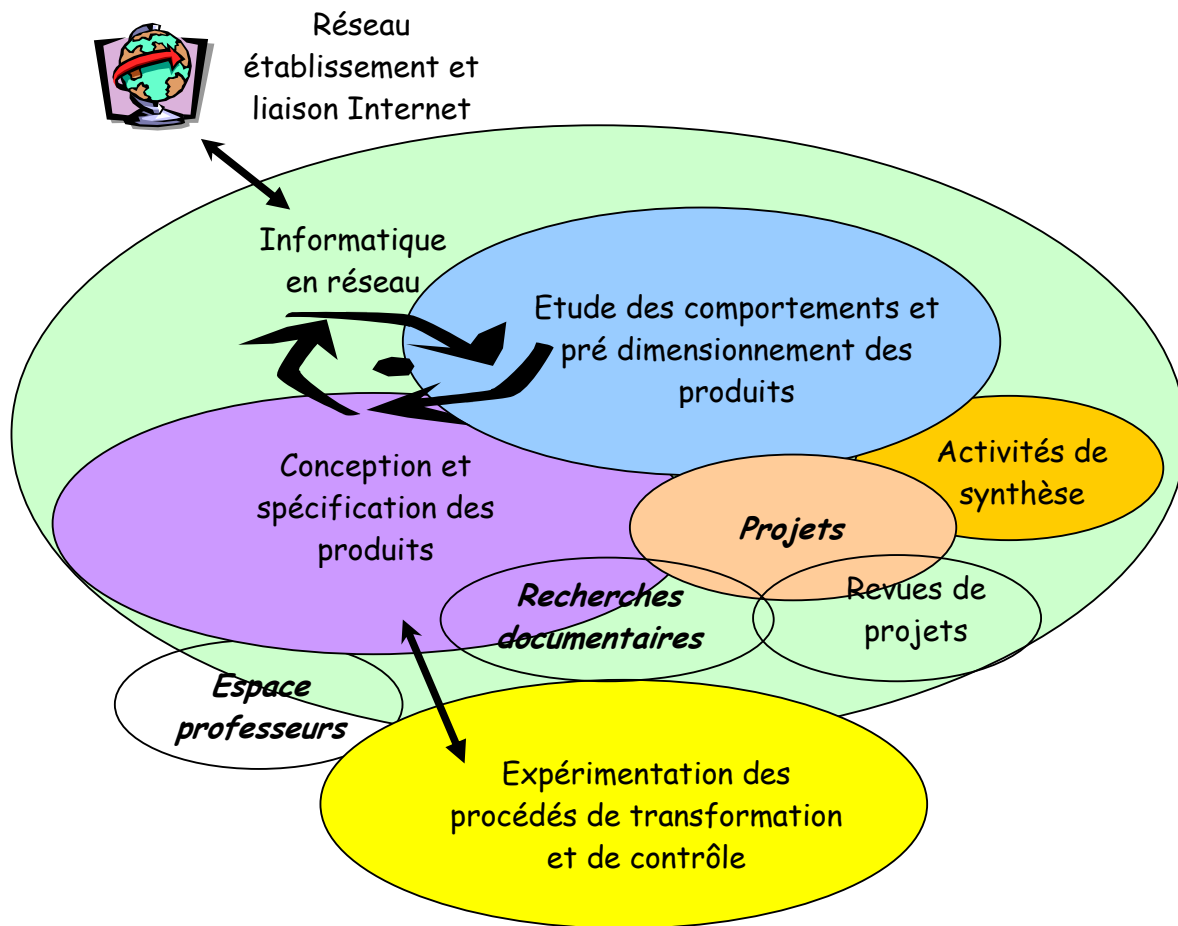
Proposition pour le suivi de projet / 30

APPRECIATION GENERALE :

## Chapitre 5 : Lieux d'enseignement et équipements

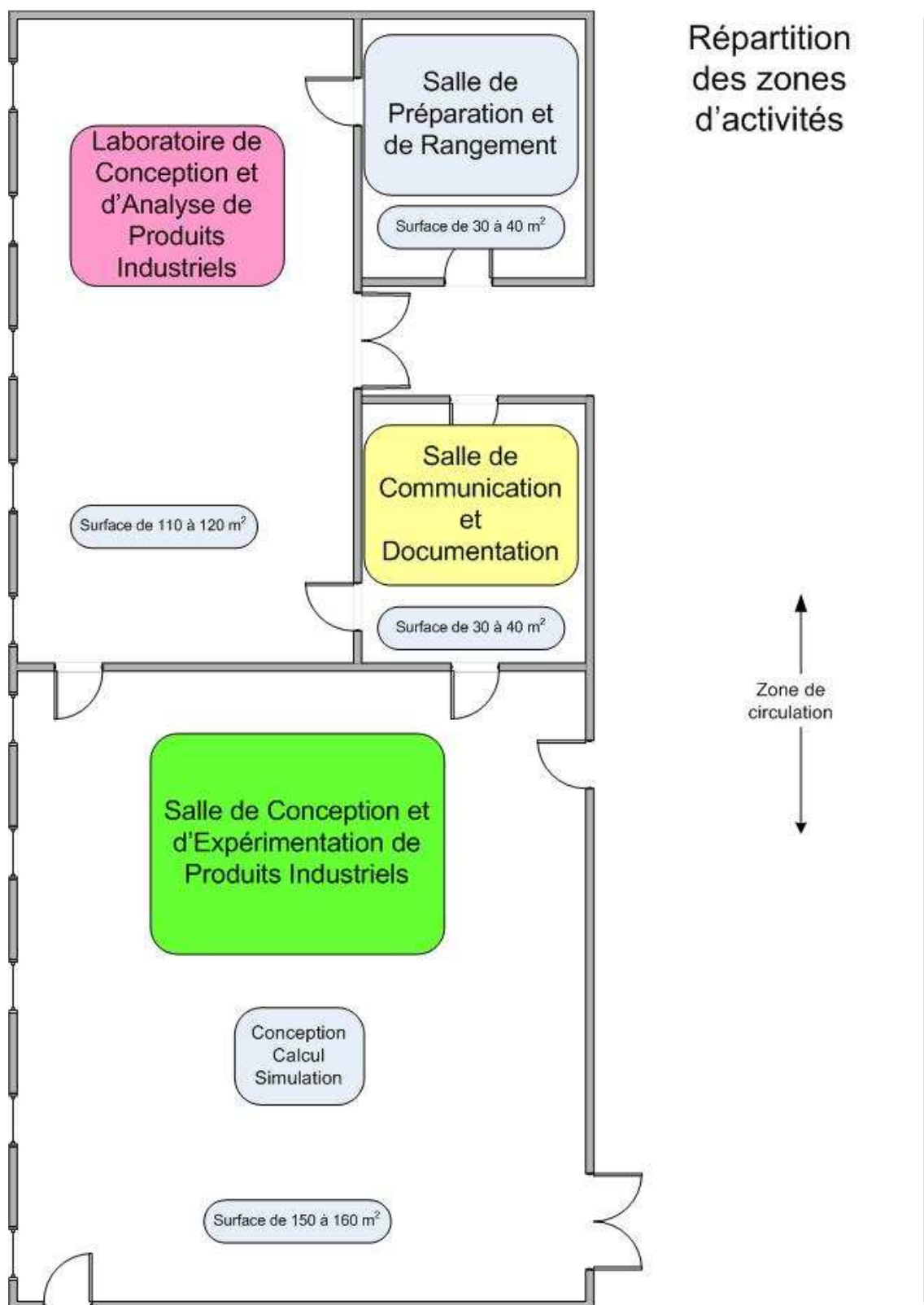
### 5.1 Les lieux d'enseignement

#### 5.11 Fonctionnalités à satisfaire



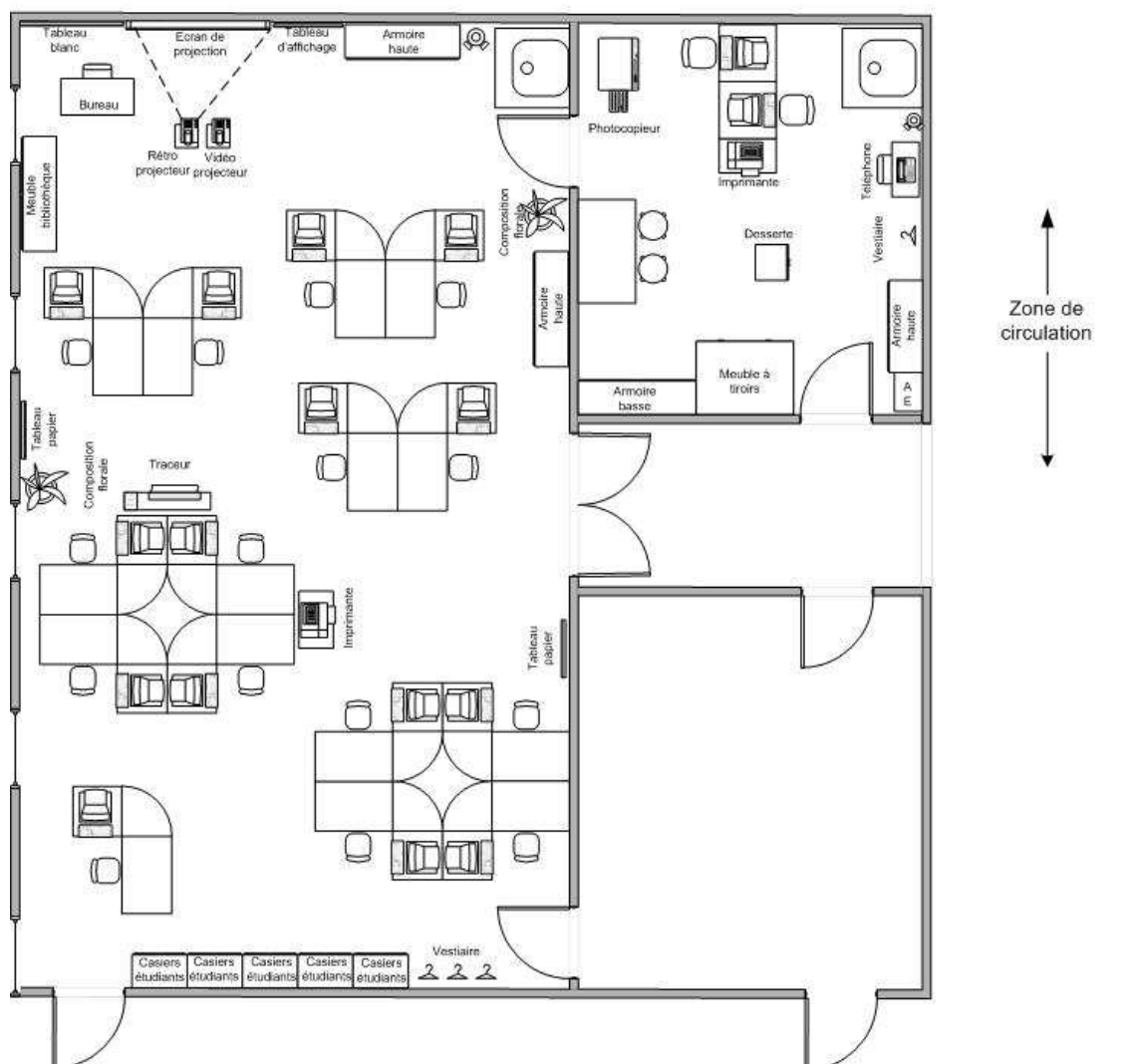


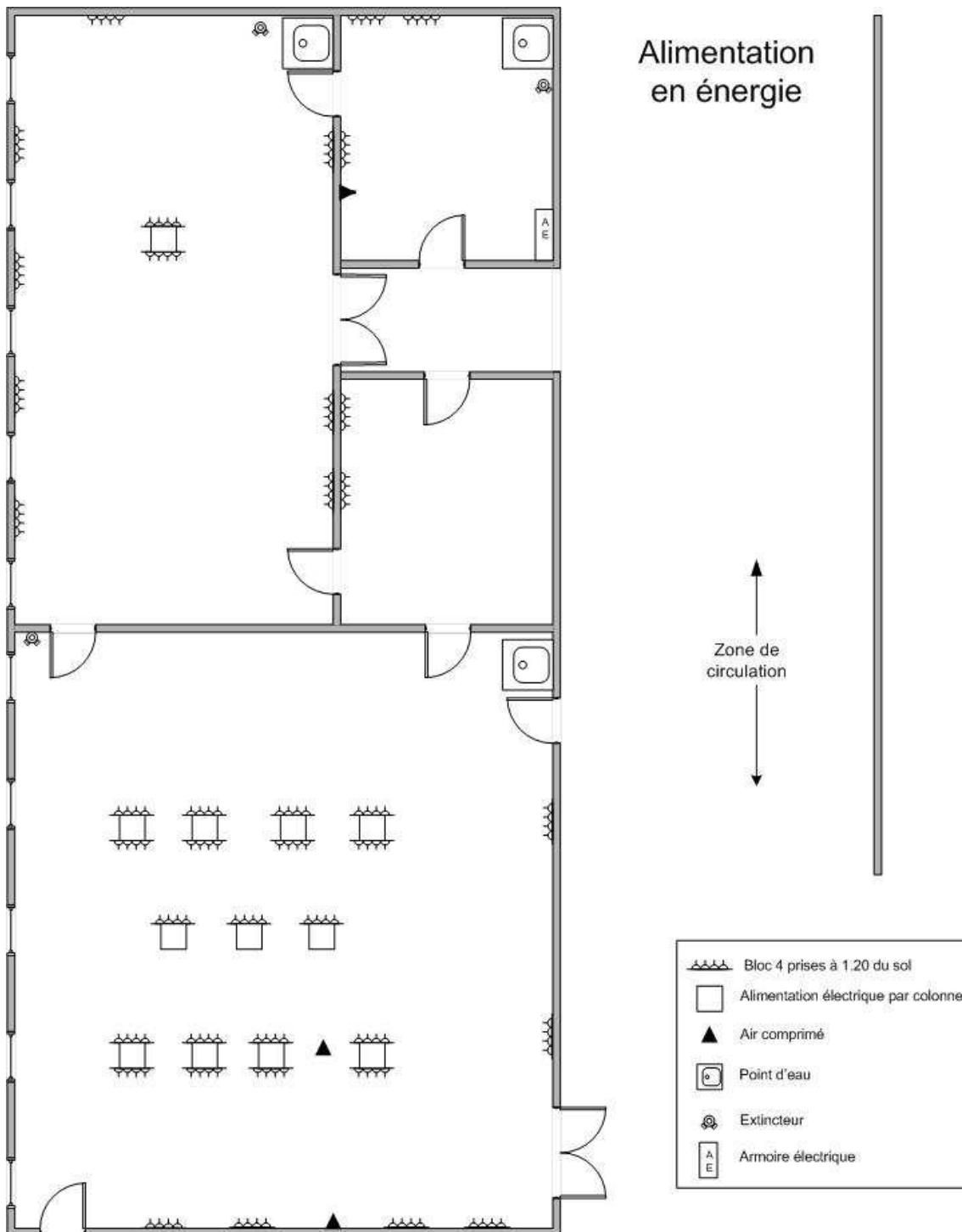
## 5.12 – Architecture et spécifications techniques des locaux





**Plan d'aménagement :**  
 de la salle de préparation et de rangement  
 de la salle de communication, documentation  
 du laboratoire de conception et d'analyse de  
 produits industriels





## 5.2 Les équipements recommandés

### 5.21 Mobilier et appareils audiovisuels et de communication pour un laboratoire.

Les caractéristiques fournies permettront aux professeurs de choisir les équipements du commerce qui conviendront le mieux.

Les exemples cités ne le sont qu'à titre indicatif.

- Mobilier :

- 35 tables informatiques avec support ordinateur et plan de travail
- 8 tables de manipulations avec bandeaux rapportés
- 4 tables informatiques pour acquisition de données
- 2 tables rectangulaires et 1 table ronde pour travaux et revues de projet
- 4 établis
- 2 bureaux professeurs
- 57 chaises simples
- 5 armoires hautes
- 2 armoires basses
- 1 armoires outillage
- 4 rayonnages ou meubles bibliothèque
- 2 tables de rétroprojecteur
- 2 tables de vidéo projecteurs sur roulettes
- 1 table pour téléphone et télécopie
- 2 tableaux blancs muraux
- 2 tableaux blancs amovibles
- 3 dessertes à roulettes
- 3 porte manteaux
- 8 casiers étudiants
- 6 présentations florales

- Appareils audiovisuels et de communication :

- 1 ordinateur portable
- 2 vidéo projecteurs
- 2 rétro projecteurs portables
- 2 écrans muraux
- 1 TV et magnétoscope
- 1 téléphone
- 1 télécopieur

### 5.22 Matériels informatiques

L'application du décret 91.451 du 14 mai 1991, relatif à la présentation des risques liés au travail sur équipements comportant des écrans de visualisation est obligatoire.

Les caractéristiques des équipements doivent être conformes aux chapitres V et VI du décret.

L'organisation du travail, la surveillance de la santé des utilisateurs, les conditions d'ambiance pendant l'utilisation doivent être conformes aux chapitres II, III, et IV du décret.

**5.23 Equipements pédagogiques.**

Les tableaux suivants décrivent la définition technique ou les fonctionnalités des supports d'enseignement permettant d'aborder les centres d'intérêt proposés sur les deux années de formation.

- Postes informatiques en réseau :

| Salle concernée                | Type de configuration                                | Nombre de postes en fonction du nombre d'étudiants |       |
|--------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------|
|                                |                                                      | 24                                                 | 30    |
| Conception                     | UC pour DAO et CAO en réseau et écran plat 17 ou 19" | 12                                                 | 15    |
| Expérimentation                | UC pour acquisition et traitement de données         | 12                                                 | 15    |
| Documentation et communication | UC de type bureautique connecté au CDI et à Internet | 2                                                  | 2     |
| Espace professeurs             | UC + serveur                                         | 2 + 1                                              | 2 + 1 |

- Périphériques :

- 1 imprimante couleur A3 avec carte réseau intégrée
- 1 imprimantes couleur A4 avec carte réseau intégrée
- 2 imprimantes laser noir et blanc A4 avec carte réseau intégré
- 1 traceur A0
- 2 vidéo projecteurs
- 1 scanner

• Logiciels :

| Typologie des logiciels                                                                                   | Nombre de postes concernés pour 30 élèves |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Modeleur 3D, variationnel et paramétré                                                                    | 30                                        |
| Bibliothèque de composants mécaniques compatible avec le modeleur                                         | 30                                        |
| Logiciel de calcul et simulation mécanique (statique, cinématique, dynamique) compatible avec le modeleur | 15                                        |
| Logiciel d'étude des comportements élastiques par éléments finis (module 3D)                              | 15                                        |
| Logiciel d'aide au choix des matériaux et des procédés et bases de données associées                      | 5 mini                                    |
| Logiciel de simulation du procédé d'injection des polymères (niveau 1*)                                   | 5                                         |
| Logiciel de simulation du procédé d'injection des polymères (niveau 2*)                                   | 1                                         |
| Logiciel de simulation du procédé de thermoformage (niveau 1*)                                            | 2                                         |
| Logiciel de simulation du procédé de pliage emboutissage (niveau 1*)                                      | 1                                         |
| Logiciel de simulation du procédé de forgeage (niveau 2*)                                                 | 1                                         |
| Logiciel de simulation du procédé de fonderie par gravité (niveau 2*)                                     | 1                                         |
| Logiciel de simulation du procédé d'usinage (niveau 2*)                                                   | 1                                         |
| Logiciel de simulation du procédé fonderie (niveau 2*)                                                    | 1                                         |
| Logiciel de rédaction d'un cahier des charges                                                             | 4                                         |
| Logiciel d'aide à la créativité par la méthode TRIZ                                                       | 1                                         |
| Logiciel de gestion de projet                                                                             | 1                                         |
| Système d'exploitation                                                                                    | 30                                        |
| Traitement de texte, tableur et logiciel de présentation                                                  | 30                                        |
| Logiciel de création de schémas                                                                           | 5                                         |
| Gestionnaire de bases de données techniques                                                               | 2                                         |
| Logiciel de création d'environnements informatiques de TP                                                 | 1                                         |
| Ressources informatisées du domaine de la construction méca.                                              | n                                         |
| Logiciel de traitement d'images                                                                           | 2                                         |

Nota :

\* Niveau 1 : il s'agit de logiciels accessibles par le concepteur en phase d'étude sans compétence « métier » particulière relativement au procédé abordé. Ces logiciels sont mis à disposition des étudiants lors des TP ou durant les projets

\* Niveau 2 : Ce sont des logiciels plus particulièrement dédiés aux professionnels des procédés. Leur usage sera donc réservé aux enseignants pour la création d'activité de TP. Exceptionnellement, ils pourront être utilisés lors des activités de projet avec une assistance des enseignants. Par contre, l'exploitation des résultats des simulations obtenues peut constituer une source de construction des savoirs intéressante

- Supports des activités de travaux pratiques.

Un laboratoire de STS CPI doit au moins disposer des systèmes et mallettes didactiques ci-dessous afin de couvrir les points clés du programme

| <b>Systèmes et des produits</b>                                                                                                                       | <b>Nombre</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Mécanisme amplificateur d'effort                                                                                                                      | 2             |
| Mécanisme transformateur de mouvement à came, articulé...                                                                                             | 2 mini        |
| Transmission par accouplement, par lien flexible                                                                                                      | 2             |
| Système permettant de mettre en évidence réversibilité et l'irréversibilité d'une chaîne d'énergie                                                    | 1 ou 2        |
| Système d'embrayage ou/et de freinage                                                                                                                 | 1 ou 2        |
| Boîte de vitesse, réducteurs                                                                                                                          | 3             |
| Moto réducteur                                                                                                                                        | 1             |
| Pompes                                                                                                                                                | 2             |
| Système comprenant une chaîne d'énergie avec un mouvement de translation et un mouvement de rotation et mettant en évidence le comportement dynamique | 1             |
| Mécanismes actuels pour la mise en évidence des solutions d'assemblages, de guidages                                                                  | 4 à 6         |
| Banc d'étude des comportements des poutres                                                                                                            | 1             |
| Mallettes d'étude des assemblages                                                                                                                     | 2             |
| Mallettes d'étude des spécifications                                                                                                                  | 2             |
| Mallettes d'étude des matériaux                                                                                                                       | 2             |

- Moyens de mesures et de manipulations :

| <b>Désignation des équipements</b>                                  | <b>Nombre</b> |
|---------------------------------------------------------------------|---------------|
| Multimètre numérique                                                | 1             |
| Pince ampèremétrique                                                | 1             |
| Alimentation stabilisée 5A et 30 A                                  | 2             |
| Calibre à coulisse digital                                          | 4             |
| Micromètre d'extérieur, d'intérieur                                 | 2 de chaque   |
| Dynamomètre (autonome ou à affichage numérique)                     | 2             |
| Clé dynamométrique                                                  | 1             |
| Comparateur                                                         | 2             |
| Tachymètre                                                          | 2             |
| Chronomètre                                                         | 2             |
| Manomètre                                                           | 2             |
| Thermomètre                                                         | 1             |
| Etau pour établi                                                    | 4             |
| Mallette outillage à main : clés, tourne vis, pinces diverses, etc. | 4             |