

# Projet NoBaby : Apprentissage de la conception/réalisation de produits en mode projet

S. THIBAUD<sup>a</sup>, E. DESCOURVIERES<sup>a</sup>, B. GAUME<sup>a</sup>, P. ROSSIER<sup>a</sup>, J. DUFFAUD<sup>a</sup>,

P. MORENTON<sup>b</sup>, L. CABARET<sup>b</sup>

a. Institut Supérieur d'Ingénieur de Franche-Comté, Université de Franche-Comté, 23 rue Alain Savary,  
25000 Besançon

b. Ecole Centrale de Paris, 2 avenue Sully Prudhomme, 92290 Châtenay-Malabry

## Résumé :

*L'enseignement des méthodes de conception et de fabrication suggère l'introduction de disciplines connexes et complémentaires à la mécanique. Aujourd'hui les produits industriels sont pluridisciplinaires (mécanique, électronique, optique, automatique, ...) et doivent répondre à des critères environnementaux (développement durable, éco-conception) et d'aspects (design - ergonomie, esthétique) mais également à des notions de modularité et de maintenance. Ceci engendre une difficulté majeure à l'enseignement de ces disciplines car elles nécessitent un certain recul sur les domaines à couvrir. On présente ici une approche, en mode projet, pour la conception et le prototypage d'un produit du domaine biomédical vers un public étudiant n'ayant, pour la plupart, aucune culture technologique. On donnera donc la progression suivie pour la conception d'un distributeur intelligent de pilules contraceptives (projet NoBaby 2010) ainsi que les avantages et difficultés associés à ce type d'approche. Enfin, les évolutions réalisées et à venir seront présentées.*

## Abstract :

*The teaching methods of design and manufacturing suggests the introduction of complementary disciplines to mechanics. Today's industrial products are multidisciplinary (sustainable development, eco-design) and aesthetic (design, ergonomics) but also to notions of modularity and maintenance. This creates a major difficulty in teaching these subjects because they require a certain distance on the areas to be covered. We present here an approach in project mode, for the design and prototyping of a biomedical product to a student audience who for the most part, don't have any technological culture. We will therefore progress followed for the design of a contraceptive pills distributor (NoBaby Project) and the benefits and difficulties associated with this type of approach. Finally, changes made and future will be presented*

**Mots clefs :** Enseignement en mode projet, conception, prototypage rapide, gestion électronique des données, ingénierie bio-médicale.

## 1 Situation de la formation ISIFC

Depuis 2001, l'Institut Supérieur d'Ingénieurs de Franche-Comté, forme en trois ans des ingénieurs adaptés au secteur des technologies pour la santé.

Implantée à Besançon, l'école propose une formation originale qui répond à un réel besoin en ingénieurs situés à l'interface des domaines scientifiques et médicaux.

A cet effet, elle collabore étroitement avec le CHU de Besançon, les entreprises biomédicales et les grands organismes de recherche : CNRS et INSERM.

Le génie biomédical, spécialité de l'école, associe les sciences du vivant (biologie et médecine) et les sciences de l'ingénieur (physique, informatique, électronique, mécanique, automatique, ...).

L'admission se fait au niveau L2 parmi des étudiants ayant eu un parcours en sciences de la vie ou en sciences de l'ingénieur.

## 1.1 Les enseignements de conception mécanique à l'ISIFC

De par la formation proposée, les élèves-ingénieurs suivent des enseignements dans les filières médicales et techniques. Dans le cadre des enseignements de mécanique, les étudiants sont confrontés à la conception de produits, en dehors de la partie théorique (8h de cours et 8h de TD), à hauteur de 48 heures de travaux pratiques. De la même manière, ils disposent d'une courte sensibilisation aux procédés de fabrication des produits (six heures de cours, deux heures de travaux dirigés et deux heures de travaux pratiques). Or il est difficile de séparer conception mécanique et réalisation du produit considéré.

Une seconde difficulté est liée à la grande disparité des profils étudiants. En effet, l'école recrute aussi bien des élèves provenant de filières techniques que médicales. Or les prérequis pour certains sont inexistantes puisque n'ayant reçu aucune formation préliminaire.

Ces deux constats ont donc amené à revoir la manière d'introduire les quelques notions essentielles à connaître en conception de produits.

## 2 Epurer vers l'essentiel

L'introduction des outils de conception assistée par ordinateur (CAO) a profondément modifié l'apprentissage de la conception de produit, notamment pour sa rapidité de mise en œuvre. Néanmoins, elle a également des effets pervers sur la pédagogie puisqu'elle amène à apprendre un outil plutôt qu'à concevoir. En effet, le temps dévolu à la maîtrise, même partielle, des outils de CAO engendre une perte de temps qui revient à limiter sa mise œuvre. Or l'objectif pédagogique est de concevoir un produit qui doit répondre à un cahier des charges fixé.

L'utilisation d'un outil de CAO n'est toutefois pas à remettre en cause mais doit tendre à limiter son influence sur le concepteur. On doit donc chercher à dominer cet outil plutôt que de se laisser dominer par lui et de se retrouver dans des difficultés d'utilisations insurmontables. Or la grande majorité des logiciels du marché utilisés dans l'industrie et par conséquent dans l'enseignement sont basés sur des modeleurs paramétriques impliquant une maîtrise importante de ceux-ci (fonctions technologiques, méthodologie d'utilisation) et une organisation de travail associée (hiérarchisation et ordonnancement des fonctions utilisées).

Or les étudiants ne possèdent pas ou peu de compétences dans ce domaine et on revient alors à l'apprentissage des outils de CAO. Dans notre formation, il nous faut donc trouver une autre approche plus simple et basée uniquement sur la forme de la pièce à concevoir sans avoir à gérer son historique de conception.

D'autre part, les cours d'analyse de la valeur et d'analyse fonctionnelle sont développés dans d'autre module de formation et permettent de ne considérer que le processus de conception en relation avec le cahier des charges fonctionnel imposé.

### 2.1 L'utilisation d'un modeleur explicite

Depuis peu on peut voir apparaître sur le marché, une nouvelle approche de la CAO basée sur la modélisation dite directe ou encore explicite. Le principe est celui recherché puisqu'il est basé sur la conception rapide et intuitive des composants d'un produit sans avoir à se soucier de son historique de conception. Un autre avantage est de pouvoir se concentrer uniquement sur la pièce (donc sur la pédagogie) et non sur l'outil. L'apprentissage de celui-ci est alors résumé en deux séances de quatre heures de travaux pratiques permettant de maîtriser la conception de pièces et l'assemblage de composants. Il est difficile voire impossible de se fixer les mêmes objectifs avec un modeleur paramétrique. Nous avons pour cela, fait le choix de changer de CAO vers le modeleur direct Spaceclaim [1].

### 2.2 Concevoir et prototyper

Un produit est conçu pour être réalisé (puis utilisé). Les enseignements de la conception et de la réalisation doivent suivre cette philosophie mais engendre des difficultés notamment temporelle et organisationnelle. Les procédés de fabrication conventionnels et spéciaux demandent des prérequis importants et leurs enseignements sont difficilement envisageables dans le cadre d'une formation d'ingénieurs en biomédical où la mécanique n'est pas la discipline principale (et pas plus que les sciences du vivant).

Le développement des procédés additifs amène à considérer une nouvelle forme de pédagogie. En effet, l'utilisation d'imprimantes 3D (frittage, dépôt de fil chaud polymère, agrégation de plâtre) ou de moyens de stratoconception ont considérablement changé l'approche de la réalisation de composants pour la pré-conception.

Nous avons donc choisi d'utiliser une machine de type imprimante à dépôt de fil chaud (Fuse Deposition Modeling) de type Dimension Elite développée par la société Stratasys. Cette machine a été acquise par l'Atelier Inter-établissement de Productique et Pôle de Ressources Informatiques pour la MECANIQUE de Franche-Comté (AIP PRIMECA).

## 2.3 Gestion électronique des documents

La gestion électronique des documents est une donnée importante quant au bon déroulement des projets. Or c'est également un point bloquant car il est souvent négligé et donne lieu à des situations cocasses (pertes de données, mauvaises versions des documents, récupérations partielles des informations).

Une première possibilité peut être liée à l'utilisation d'un lieu de stockage unique sur le site d'enseignements. Néanmoins, ceci ne permet pas de régler plusieurs points importants de la gestion des documents et du suivi pédagogique. En effet, si le lieu de stockage est unique, il n'empêche pas la prolifération et la duplication des données ou pire encore la suppression (souvent involontaire) des informations. De plus la récupération en dehors des heures affectées au projet, n'est pas toujours possible notamment si les ressources sont situées sur un serveur inaccessible en dehors du lieu de formation.

La deuxième solution qui a été choisie est d'utiliser un outil de gestion collaborative de type PLM (Product Lifecycle Management) en mode gestion des données uniquement (PDM). La plateforme collaborative utilisée est celle initiée pour l'enseignement par l'AIP PRIMECA de Franche-Comté et initiée par Pascal Morenton de l'Ecole Centrale de Paris [2]. Elle est basée sur l'outil Windchill de la société PTC[3] et située à l'Ecole Centrale de Paris. Nous utilisons ici les deux avantages recherchés à ce type d'outils : la récupération des données multi-sites via une interface WEB et le versionnement des documents.

## 3 Le projet NoBaby

Les projets de conception/prototypage à l'ISIFC se veulent associés au thème général de formation à savoir le monde du biomédical. Pour cela lors de la première année d'existence des projets (2009), le sujet considéré a été dévolu à la conception et au prototypage d'un distributeur de pilules contraceptives intégralement mécanique intitulé NoBaby dont les principales contraintes sont recensées dans un cahier des charges [4]. On impose dans ce projet un système mono-disciplinaire : toutes les contraintes doivent être validées par un système purement mécanique.

### 3.1 Organisation pédagogique

Le nombre d'heures encadrées est donc de huit séances de quatre heures de travaux pratiques en deuxième année. On répartit alors sur ces huit séances un cadencement de la progression des étapes de conception et de prototypage. Les étudiants sont répartis en binôme ou trinôme. Les quatre enseignants participant à ces projets ne suivent pas constamment le même groupe et une rotation voulue est opérée afin d'apporter des compétences et des points de vue différents au regard des questions posées. Cela pose néanmoins certains problèmes organisationnels (propositions contradictoires des « experts », bien légitime car il n'y a pas unicité de solution,) et demande une fois de plus à définir une méthode de suivi des étudiants. Pour cela, une fiche de suivi individuelle de chaque groupe est créée et disponible sur la plateforme collaborative. On gère ainsi l'évolution de chaque groupe sur chaque séance et les avis des enseignants. On donne dans la suite le cycle pédagogique entrepris et synthétisé par la figure

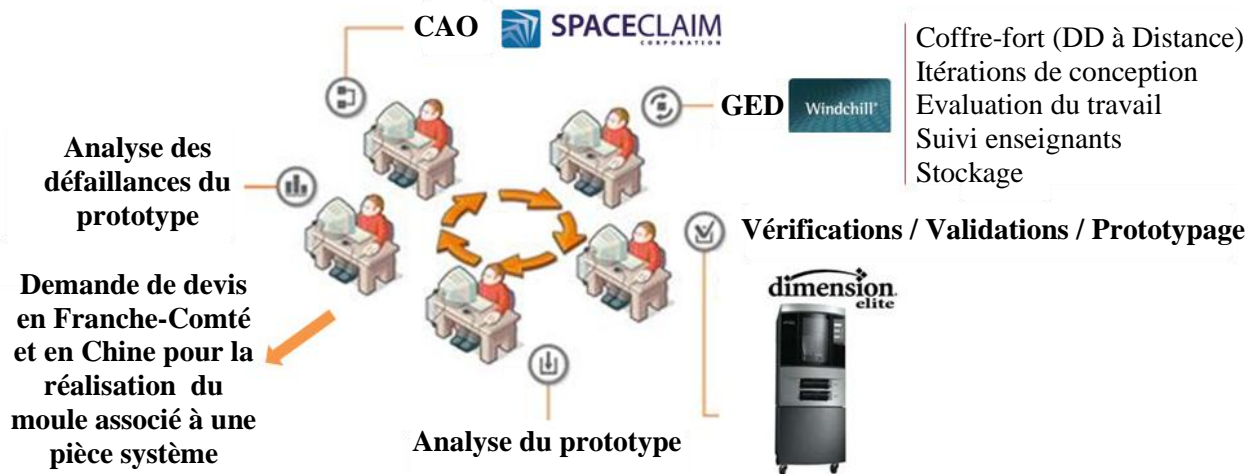


FIG. 1 – Cycle de progression de la conception-prototypage du produit

### 3.2 Recherches de solutions et conception préliminaire

Dans le cadre du projet NoBaby, le changement d'outil de CAO entre la première année (Pro-Engineer) et la deuxième année (Spaceclaim) a nécessité un apprentissage de l'outil. Ceci s'est déroulé sur une séance et demie (conception et assemblage). Pour l'année 2010, cette phase n'existe plus puisque les étudiants de première année sont déjà initiés à l'outil.

Les séances suivantes, numéro deux à cinq, sont associées à la recherche de solutions et aux premières conceptions. Les deux premières séances tendent à opérer la première validation des enseignants sur les choix des solutions. Cette étape primordiale permet une prise de conscience des étudiants quant à la difficulté d'exprimer une idée en un schéma de principe. Il permet d'insister en particulier les notions de fonctionnalité, de schématisation cinématique, de phases de fonctionnement, de surfaces fonctionnelles et de solutions technologiques. Les deux séances suivantes sont dédiées à la conception à part entière du produit. L'utilisation d'un modèleur explicite permet ici de réduire les temps pour aboutir aux ébauches des pièces souhaitées.

A l'échéance de la cinquième séance, on impose aux groupes de déposer l'ensemble des pièces conçues pour le prototypage sur la plateforme collaborative. Au-delà de la date échéance le dépôt est refusé. Ceci permet d'imposer les livrables et délais associés à un projet.

### 3.3 Prototypage et analyse du produit

A l'échéance de la cinquième séance, les pièces sont alors prototypées à l'aide de l'imprimante 3D. Une analyse complète des pièces est alors réalisée. Les premières analyses sont basées essentiellement sur l'assemblage et la résistance des pièces conçues. Les erreurs récurrentes observées pour la majorité des prototypes sont liées à des conceptions à cotes nominales entraînant un mauvais appariement des pièces. Les seconds problèmes sont associés à un mauvais dimensionnement des composants fonctionnels (pièces déformables, épaisseurs de parois), ou à des phases de fonctionnement oubliées.

Ceci permet un apprentissage plus intéressant des notions essentielles aux conditions d'assemblage et de fonctionnement des produits. L'avantage de l'approche projet est de pouvoir répondre aux problèmes tout en introduisant les notions essentielles de technologie mécanique, de faisabilité et de critères de dimensionnements directement sur le produit conçu. Il est à noter que les enseignements de mécanique de structures sont dispensés, pour le moment, après les projets de conception.

L'utilisation d'un moyen de prototypage rapide de type impression polymère permet également d'envisager la conception de composants obtenus par injection plastique. Ce type d'enseignement est souvent complexe et nécessite des prérequis importants. Néanmoins les prototypes sont prétextes aux concepts essentiels à connaître sur ce type de composants (variation d'épaisseurs, dépouille, démoulage, nervurage, défauts de procédés,...). On a donc dans ce type de projet, une approche pédagogique aussi bien inductive que déductive amenant à solliciter les compétences de chacun (étudiant et enseignant).

### 3.4 Itérations de conception

Les dernières séances permettent d'effectuer une nouvelle itération de la conception du produit. La prise en compte des défauts analysés à l'étape précédente influence les modifications à apporter pour une validation du fonctionnement. Cette étape est alors menée en totale autonomie des étudiants afin de valider leurs acquis.

Au terme de cette itération, la maquette numérique est une fois de plus déposée sur l'outil de gestion collaborative. Le dernier prototype, en théorie fonctionnel, est alors imprimé.

### 3.5 Confronter l'étudiant à la réalité du marché

Afin d'aller plus loin dans le processus de conception/réalisation d'un produit, il est imposé aux groupes d'étudiants de démarcher des entreprises régionales et internationales (i.e. Chine) pour obtenir un chiffrage du produit à partir de la fabrication d'un outillage de moulage par injection plastique. Ceci permet de mettre en valeur le coût réel des pièces mais également d'avoir très régulièrement des informations pratiques pour la réalisation ou la non-faisabilité d'un composant.

### 3.6 Evaluation des étudiants

La principale remarque opposée à l'enseignement en mode projet est liée à l'évaluation des étudiants. Pour répondre à ce critère, nous avons choisi d'évaluer le rendu sous forme d'une soutenance orale basée sur la présentation du produit conçu (du cahier des charges au prototype fonctionnel). Cette présentation se fait, dans un premier temps, sans l'utilisation du prototype physique afin d'obliger chaque étudiant à expliquer le fonctionnement du produit de manière synthétique et détaillé, en s'appuyant sur les outils de visualisation (schématisation, maquette numérique, vues planes, etc). En fin de soutenance, le prototype fonctionnel est alors présenté. Le caractère fonctionnel du produit n'est que partiellement pris en compte dans l'évaluation. Dans le cas de chaque groupe, on s'attache alors à classer les binômes avec trois prix spéciaux : meilleur projet, esthétique et innovation.

L'établissement d'une fiche de suivi et la possibilité de suivre, par l'intermédiaire de l'outil collaboratif, les itérations de conception doivent permettre une évaluation individuelle plus fine. Pour le moment, nous nous attachons à évaluer le travail d'équipe.

Il est envisageable de proposer le partage d'une prime de points, à négocier par les étudiants au sein de leur groupe, en fonction de leur propre estimation de leur mérite respectif. Il s'agit d'une transposition d'un principe rencontré dans l'industrie sous la forme d'une prime financière que l'équipe doit se répartir. Cette démarche d'auto-évaluation a été initiée avec succès par la formation mécatronique de l'INSA Strasbourg qui articule ses enseignements autour d'un projet [7].

## 4 Bilan et évolution

### 4.1 Sur le projet NoBaby

Pour une première expérience, le projet NoBaby a été une réussite autant du point de vue du pédagogue que de l'étudiant. En effet, ramener l'essentiel du projet à la conception et au prototypage d'un produit permet enfin de se concentrer sur les disciplines à enseigner et non sur l'apprentissage d'un outil informatique.

Pour les étudiants, la motivation d'obtenir en un court délais un système réel et fonctionnel qu'ils ont conçu entraîne une sollicitation plus importante et une envie réelle d'apprendre. On donne sur la figure 3, un exemple de conception et le prototype fonctionnel associé d'un distributeur NoBaby.

Il faut néanmoins tempérer cette satisfaction en termes d'implication des enseignants, de gestion des documents et surtout des impressions 3D. En effet, la principale difficulté est d'obtenir les bonnes versions de données au bon moment pour assurer des cycles d'impression 3D soutenus.

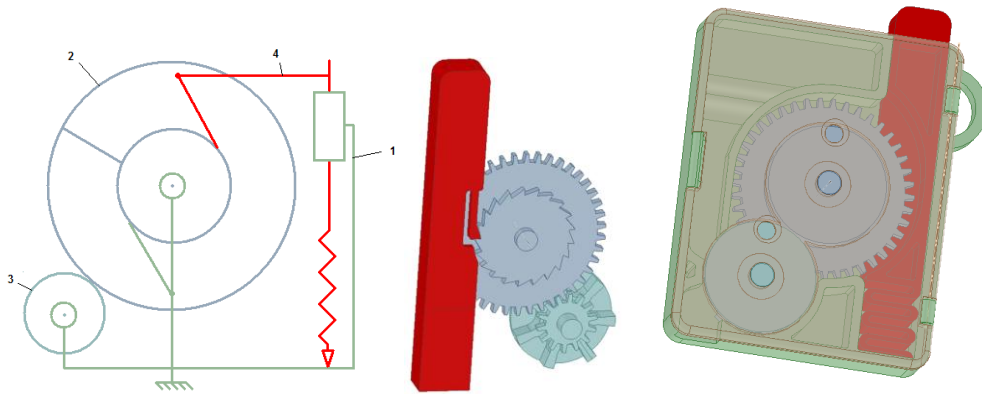


FIG. 3 – Le projet rendu par Gavory et Gloriod [5]

## 4.2 Les évolutions en cours et à venir

Les produits industriels sont rarement mono-disciplinaires. Pour cela, nous avons choisi de faire évoluer les projets de conception-prototypage vers un couplage avec l'électronique. Dans les 32 heures imparties au projet, nous avons donc sollicité les enseignants d'électronique afin d'intégrer certaines fonctions (compteurs, affichage, gestion de piles, etc). Ceci a été appliqué au projet iPill [6] en collaboration avec l'Ecole Centrale de Paris par l'intermédiaire de MM Pascal Morenton et Laurent Cabaret. Chaque établissement ayant les mêmes contraintes horaires et matérielles à disposition.

Le rendu est une fois de plus très intéressant et motivant. Néanmoins, face à la frustration de ne pas avoir le temps d'intégrer le dispositif électronique dans la partie mécanique, il a été décidé pour la rentrée 2011 de réorganiser la deuxième année de l'ISIFC en rapport avec ces projets. Pour cela, au cours du premier semestre, 32 heures de travaux pratiques seront dédiés à la conception électronique en relation avec le cahier des charges du produit. Dans le même temps, les étudiants étudieront dans les modules spécifiques l'analyse fonctionnelle et l'analyse de la valeur. Au second semestre, le dispositif mécanique sera développé en prenant en compte les contraintes proposées par l'électronique. Les enseignements de mécanique des structures apporteront alors les notions nécessaires au dimensionnement du produit. Ce projet amènera donc les étudiants à une étude complète d'un produit sur une année et couplant mécanique et électronique (conception et réalisation).

## 5 Conclusions

Les projets de conception-réalisation menés à l'ISIFC ont permis, en un temps réduit, de sensibiliser des étudiants, qui pour la plupart n'ont quasiment pas de notions en sciences de l'ingénieur, à la conception et à la réalisation des produits. Ce mode de formation est encore en cours de développement mais semble couvrir l'ensemble de la demande pédagogique. Il semble, aujourd'hui, impossible pour cette formation de changer d'orientation surtout par rapport au rendu des étudiants (motivation et investissement).

## References

- [1] Spaceclaim corporation, [www.spaceclaim.com](http://www.spaceclaim.com)
- [2] Pascal Morenton, Présentation d'une plateforme académique mutualisée WINDCHILL, Conférences REXPLM 2006, [www.plmlab.fr](http://www.plmlab.fr)
- [3] Parametric Technology Corporation, [www.ptc.com](http://www.ptc.com)
- [4] Cahier des charges du projet NoBaby, document Interne ISIFC, 2010
- [5] Anne-Laure Gavory, Jérôme Gloriod, Projet NoBaby, document interne ISIFC, 2010
- [6] Cahier des charges du projet iPill, [http://cao.etudes.ecp.fr/iPill/iPill\\_cdc\\_2-1.pdf](http://cao.etudes.ecp.fr/iPill/iPill_cdc_2-1.pdf), 2011
- [7] Descourvières Eric, "Formation des ingénieurs mécatroniciens, l'expérience de l'INSA Strasbourg ", Elsevier Mécanique & Industries, Volume 4, Issue 5, Pages 569-574, September-October 2003, Réflexion sur la Mécatronique, Rennes, France.