

# Le prototypage rapide par Stratoconception en PTSI

JEAN-LOUIS MARTEAU<sup>1</sup>

*Depuis de nombreuses années, dans le contexte de l'enseignement des sciences de l'ingénieur en PTSI (première année de classe préparatoire), le travail autour du projet et sa concrétisation a été privilégié.*

*Dans le cadre des TIPE, la démarche de projet impose la réalisation d'un prototype dans la phase de développement, pour vérifier si les fonctionnalités du cahier des charges sont respectées. Le prototypage par Stratoconception apporte une réponse fiable et rapide à cette nécessité de vérification, comme le démontre l'expérience décrite ici.*

**MOTS-CLÉS** prototypage, postbac, projet, procédé

## Les TIPE

Les TIPE (Travaux d'Initiative Personnelle Encadrés) ont comme objectifs (BO d'avril 1998) :

- en première année (PTSI), l'acquisition d'une méthode de travail ;
- en deuxième année (PT), la préparation et la rédaction d'un dossier sur un sujet choisi dans un thème national.

Cette activité constitue un entraînement à la démarche technologique développant chez l'étudiant des capacités de recherche de documentation, d'imagination expérimentale, de choix de solutions...

Dans la filière PTSI (Physique – Technologie – Sciences de l'Ingénieur), certains élèves choisissent une dominante « sciences industrielles », ce qui leur permet de mettre en œuvre les connaissances et les méthodes acquises en cours, TD et TP.

Au niveau d'un projet, nous sommes avant tout soucieux de respecter la démarche conceptuelle d'un produit industriel. Avant de lancer la fabrication ou de la sous-traiter, le dossier des élèves doit contenir :

- un cahier des charges ;
- le bilan des recherches ;
- une analyse fonctionnelle ;
- des croquis ;
- un plan d'ensemble ;
- des dessins de définition cotés fonctionnellement ;
- un projet sommaire d'étude de fabrication.

Dans ces conditions, la fabrication du prototype représente un apport et une source d'approfondissement pour les étudiants motivés par la réalisation de leur projet.

## L'historique d'un projet

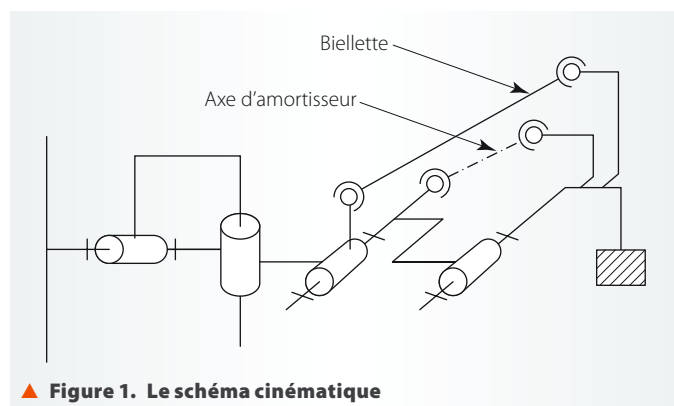
Au début de l'année scolaire 2001-2002, dans le cadre élargi de leur TIPE, un groupe d'élèves passionnés par les sports mécaniques décide de s'intéresser aux trains avant d'automobile. Ils proposent de tenter de réaliser la maquette d'un train automobile de type pseudo-MacPherson.

Le groupe de six étudiants s'organise, fait des recherches tous azimuts, décode des plans et des croquis, analyse des maquettes d'automobile, observe et schématise des suspensions de diverses automobiles. Une fois validé, leur projet commence à entrer dans une phase plus conceptuelle.

À ce stade, plusieurs contraintes sont imposées :

- les dimensions des pièces à réaliser doivent être compatibles avec les capacités des machines de notre laboratoire ;
- seuls les pneus seront achetés dans le commerce ;
- les liaisons rotules ne sont pas utilisables, puisque non usinables dans le labo.

Le groupe prend alors la décision de concevoir un demi-train avant à l'échelle 1/8. Les contraintes entraînent des simplifications sur la réalisation des liaisons de la suspension.



▲ Figure 1. Le schéma cinématique

Une étude de mobilité à partir du schéma cinématique (figure 1) montre aux élèves que dans un tel ensemble toutes les liaisons pivots (exceptée la liaison roue-fusée) et les liaisons linéaires annulaires (remplaçant les liaisons rotules de la biellette) doivent :

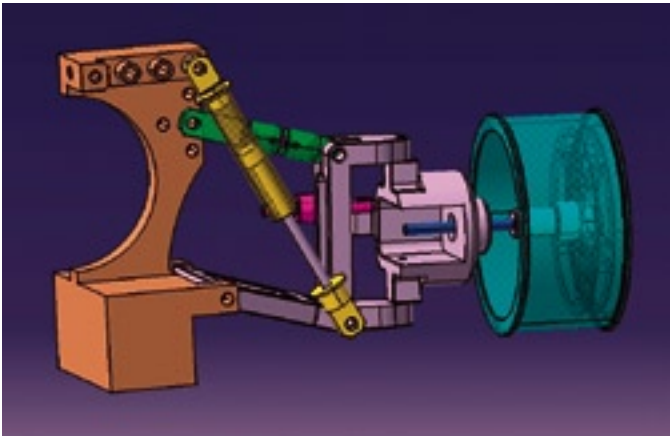
- avoir leur axe perpendiculaire ou contenu dans un plan vertical défini par le support ;
- être centrées dans celui-ci.

Après la rédaction du cahier des charges fonctionnel, les premiers croquis et plans sont élaborés.

À la fin de cette première année, la phase de réalisation de la jante peut commencer. Seule une ébauche de prototype pleine matière peut être réalisée, mais les étudiants ont élaboré un dossier comprenant toutes les recherches et tous les croquis ainsi que le plan d'ensemble et les dessins de définition des éléments constitutifs de la maquette.

La réalisation d'un prototype pleine matière n'est pas possible car le temps manque. Pour réaliser toutes les pièces, la mise en œuvre des deux machines-outils du laboratoire demande un temps incompatible avec l'horaire hebdomadaire de sciences industrielles en PTSI.

1. Ingénieur Ensam, professeur agrégé au lycée Blaise-Pascal de Rouen. Courriel : jean-louis.marteau@ac-rouen.fr



▲ Figure 2. La maquette numérique

L'année suivante (2002-2003), un nouveau groupe de math sup demande à reprendre le projet pour le continuer et si possible le terminer.

Le dossier est rouvert, une analyse critique des nouveaux étudiants permet de retenir des modifications afin d'améliorer l'ensemble déjà conçu. Le nouveau groupe élabore au deuxième trimestre une maquette numérique 3D avec le logiciel Catia V5 (figure 2).

L'exigence de réalisation de plans de définition cotés (figure 3) oblige les élèves à établir des chaînes de cotes. Nous complétons leur travail pour obtenir un document complet, le contenu de leur programme ne leur permettant pas de tout faire. Des explications complémentaires leur sont données et sont facilement comprises.

L'élaboration des programmes de FAO pour l'usinage de la jante et de la fusée est menée sous le contrôle et avec l'assistance des professeurs.

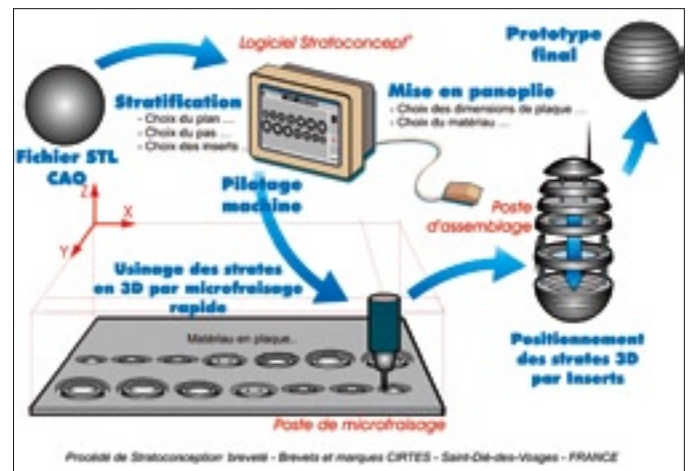
Le travail de préparation étant terminé, la réalisation des deux premières pièces du prototype peut commencer. La jante et la fusée sont usinées en utilisant les machines-outils de notre

laboratoire : la fraiseuse Conventional Plus (FDC+) et le tour Conventional Plus (TDC+) de Réalméca. Ces machines à commande numérique s'utilisent :

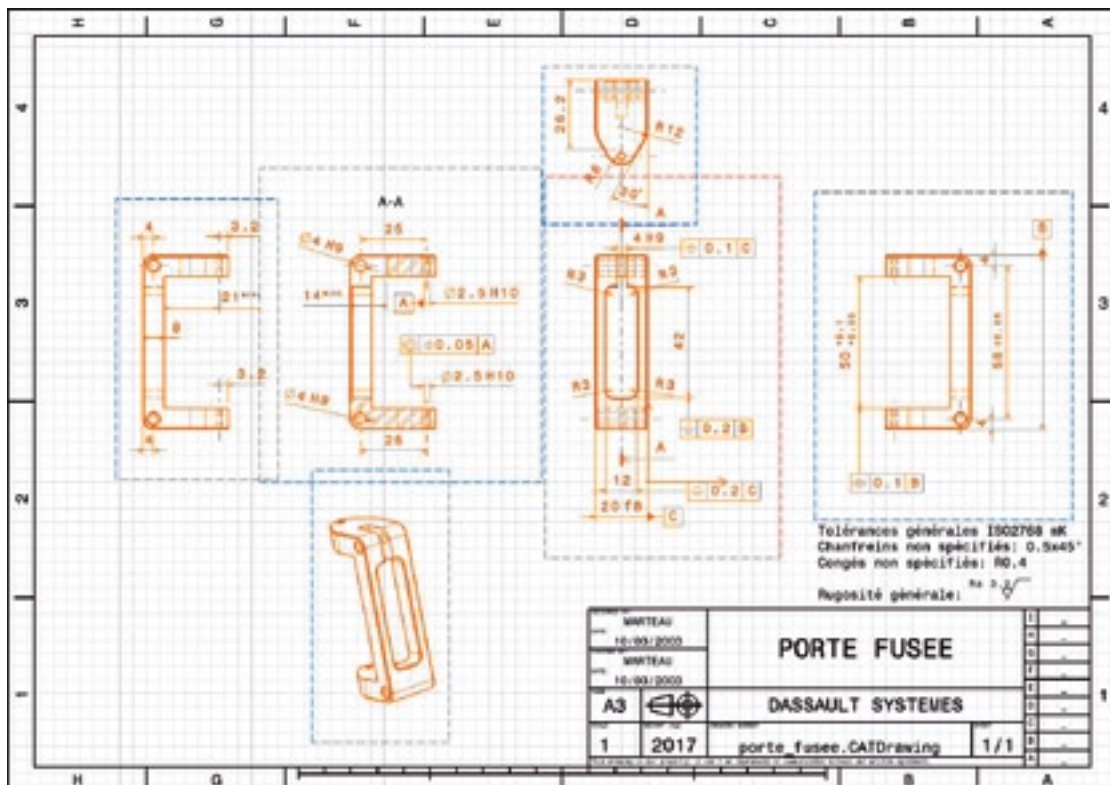
- en mode manuel comme une machine conventionnelle ;
- en mode semi-automatique avec des opérations préprogrammées au pupitre ;
- en mode automatique avec un programme issu de la FAO.

Les élèves de PTSI réalisent la mise en œuvre et l'usinage pendant les séances de TP du troisième trimestre. Cette phase de la démarche conceptuelle nous prend du temps, et, avec nos seuls moyens (deux machines), le prototype ne sera pas finalisé à la fin de l'année scolaire.

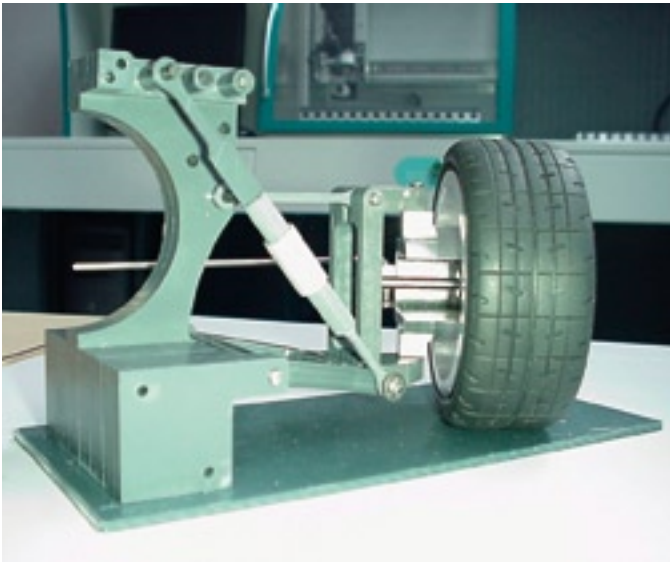
Mais au début du troisième trimestre 2002-2003, notre laboratoire est doté grâce à notre chef des travaux d'une station Stratoconcept STR200 de Charlyrobot. Nous envisageons alors de fabriquer les autres éléments du prototype en utilisant la Stratoconception après un stage de formation au Cirtes à Saint-Dié-des-Vosges. La Stratoconception est un procédé français breveté mis au point par le Cirtes (figure 4) qui rend possible



▲ Figure 4. Le procédé de Stratoconception



▲ Figure 3. Le plan du porte-fusée



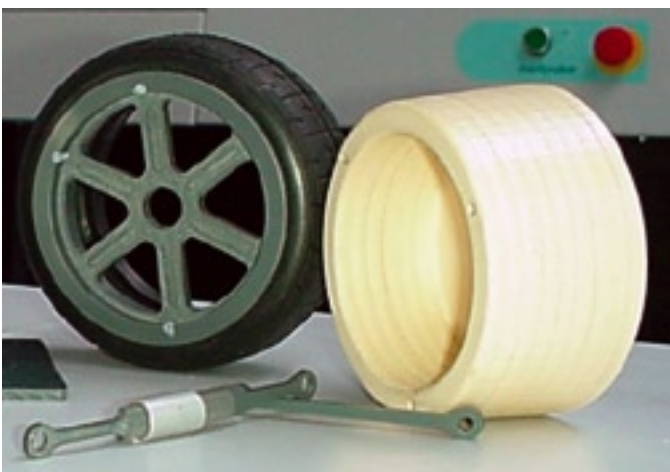
▲ Photo 1. Le demi-train avant réalisé par Stratoconception

rapidement l'élaboration d'une pièce ou d'un petit ensemble en fin d'année avec des classes préparatoires. Rapide à expliquer et facile à mettre en œuvre, cette technique associée à la station Charlyrobot permet de faire avancer plus vite le projet. Les élèves voient la possibilité de le faire aboutir, et leur travail personnel en est décuplé. Ainsi, ce procédé de prototypage rapide permet avant la fin de l'année d'aboutir à la réalisation d'une première maquette complète du demi-train avant. C'est aussi pour nous l'occasion de présenter sous forme de TD les différents procédés de prototypage rapide à travers la visite du site internet du Cirtes.

L'usage des fichiers au format STL généré à partir des fichiers numériques 3D nous dispense de l'étude de fabrication et de la FAO. Le logiciel Stratoconcept associé au logiciel de pilotage de la machine G\_Pilote est rapidement mis en œuvre. L'usinage une fois lancé peut se faire hors la présence d'élèves.

Pour chaque pièce usinée sur la STR200, chaque étudiant doit prévoir :

- le meilleur plan de strate;
- la nécessité ou non d'un retournement (dépouille et contre-dépouille);
- la position des inserts;
- l'origine pièce;
- les paramètres de coupe;
- le choix de l'outil.



▲ Photo 2. Jante, biellettes (PVC gris) et brut de fonderie (PVC ivoire) réalisés par Stratoconception

L'utilisation de la station de prototypage s'effectue avec l'aide des professeurs.

En plus de la validation des formes, la précision des usinages autorise également l'assemblage des divers composants (photo 1). Il faut à cette occasion faire appel à quelques techniques de maquettiste. Après quelques retouches soigneusement faites afin d'éliminer certains petits défauts de forme dus à la stratification, les mouvements relatifs sont possibles.

Nous utilisons du *stub* pour faire les axes, et des anneaux *self-locking* pour les arrêts en translation. La biellette de direction est un morceau de rayon de vélo.

Ainsi, sur cet ensemble, après le montage, nous validons la solution retenue pour la géométrie et le choix fait pour les liaisons d'assemblage des différents constituants.

La dynamique créée par la réalisation de la maquette permet de déboucher pour l'ensemble de la classe sur une recherche collective afin de trouver et d'optimiser d'autres solutions pour réaliser la jante, deux flasques et un tube par exemple (photo 2).

La recherche d'une industrialisation économique pour fabriquer la jante nous amène à penser à la fonderie. Certains élèves définissent le brut de fonderie, et proposent des solutions pour faire le moulage en sable. Ce brut ainsi prototypé (photo 2) permet d'appliquer et de valider les connaissances acquises sur la fonderie.



▲ Photo 3. Boîtier en deux pièces réalisé par Stratoconception

Différentes biellettes sont usinées (photo 2). Nous pouvons mesurer l'incidence de leur longueur sur la position angulaire du pneu par rapport à la route.

Le temps manque pour faire les calculs et la simulation avec un logiciel de mécanique.

Pour le groupe en charge du projet, l'année se termine par une succession de propositions pour l'élaboration d'un futur cahier des charges fonctionnel pour une maquette plus grande. Ce dernier servira peut-être à lancer la conception d'un train avant à l'échelle 1/5 qui comporterait non plus des articulations de type linéaire annulaire mais des rotules trouvées dans un catalogue industriel (HPC).

Pendant la même année scolaire, dans le cadre des TIPE, un élève réalise un boîtier support de diodes pour une lampe (photo 3). Stimulé par l'arrivée de la STR200, par la perspective de toucher sa création du doigt, il a utilisé chez lui SolidWorks pour dessiner ses pièces et fait seul la cotation. Cet ensemble est fabriqué par Stratoconception en deux après-midi. Seuls les trous taraudés sont réalisés avec une perceuse d'atelier et un jeu de tarauds. Un procédé de fabrication autre que le prototypage rapide n'aurait pas permis à cet étudiant de voir aboutir concrètement son avant-projet pour valider la forme et l'espace disponible pour le circuit imprimé.

## Les perspectives

Pendant la présente année scolaire, la maquette est exploitée pour illustrer des parties du cours et des TD. Si un groupe motivé veut s'engager sur le projet de maquette au 1/5, nous relancerons une nouvelle aventure. Dans ce cas, la réalisation complète de la maquette en prototypage rapide par Stratoconception suppo-

### Pour en savoir plus

● Sur la Stratoconception :  
[www.cirtes.fr](http://www.cirtes.fr)



● Sur la STR200 :  
[www.charlyrobot.com](http://www.charlyrobot.com)



sera des usinages adaptés par rapport à la maquette numérique, si l'on veut par exemple usiner les trous taraudés des rotules standard sur le prototype.

Ultérieurement, la réalisation d'un prototype complet au 1/8 en pleine matière sera peut-être possible, mais plus longue et plus complexe à faire aboutir avec des PTSI. Nous envisageons de sous-traiter des pièces à d'autres sections du lycée. Le demi-train avant échelle 1/8 doit être repris par la section de TS productive pour être usiné en alliage léger.

## Conclusion

Cette nouvelle machine de Stratoconception nous permet en PTSI des débouchés concrets à des études que l'on peut faire en cours, en TD, en TIPE. Le coût de fonctionnement est très raisonnable grâce aux matériaux utilisés. La mise en œuvre est vite assimilée par les étudiants.

La réalisation d'assemblages demande certes un travail minutieux et soigneux, mais le résultat nous semble éloquent. La phase d'ajustage permet entre autres d'araser les strates dans certains alésages qui ont une fonctionnalité dans les liaisons.

En menant à bien un projet, même simple, nous avons constaté que les élèves ont alors une motivation décuplée pour faire des sciences industrielles. Ils approfondissent leur culture technique tout au long de leur année scolaire. Les connaissances sont mieux acquises sur les sujets qu'ils sont amenés à mettre en œuvre pour réaliser leur projet.

Passer du virtuel au réel représente toujours une stimulation et un défi pour tous, professeur comme élèves. Mais il faut garder les exigences de la démarche industrielle de conception pour former de véritables ingénieurs. ■