

BTS CIM (2)

# La conception mécatronique

PATRICK TABONE <sup>[1]</sup>

*La mécatronique exige de penser les produits de manière transverse ; elle fait tomber les murs entre domaines de compétences. Il s'agit au final d'obtenir non pas un élément purement mécanique, ou purement électronique, mais bien un ensemble qui combine les deux technologies. Alors, quelle démarche de projet et quels outils permettent cette synergie en phase de conception ?*

La conception des systèmes mécatroniques en général et des systèmes microtechniques en particulier exige un échange fluide des données entre les domaines de la mécanique et de l'électronique.

L'utilisation des boîtiers CMS (Composants Montés en Surface) et des composants électroniques programmés permet une intégration poussée des parties commande et de l'interface homme-machine à l'intérieur même des ensembles mécaniques. Cette électronique miniaturisée n'est plus annexée, elle est conçue pour être le plus intégrée possible dans le système.

De plus en plus, les deux univers de la mécanique et de l'électronique, s'ils ne sont pas l'apanage des mêmes techniciens, se doivent malgré tout de fonctionner en bonne harmonie avec des méthodes et des outils communs. Il incombe donc aux deux domaines de l'enseignement technologique correspondants,

**mots-clés**  
conception & définition, électronique, lycée technologique, mécanique, outil & méthode, projet

[1] Professeur de génie mécanique en STS CIM au lycée Édouard-Branly de Créteil (94).

encore trop souvent cloisonnés (enseignants, labos, logiciels, etc., différents), de trouver des méthodes d'ingénierie compatibles avec l'évolution des produits. Le chef de projet doit maîtriser les différents domaines, et non être un expert dans l'une des technologies mécatroniques : il lui faut absolument éviter de porter un regard purement mécanicien ou électronicien sur le projet.

La conception ne doit plus se faire de manière séquentielle : la démarche mécatronique nécessite de penser le produit dans son ensemble (tous les domaines de compétences à la fois) et non pas d'abord la partie mécanique, ensuite l'électronique, puis les capteurs-actionneurs, enfin l'informatique, sous peine de surcoûts rédhibitoires et de solutions non optimisées en taille et en ergonomie.

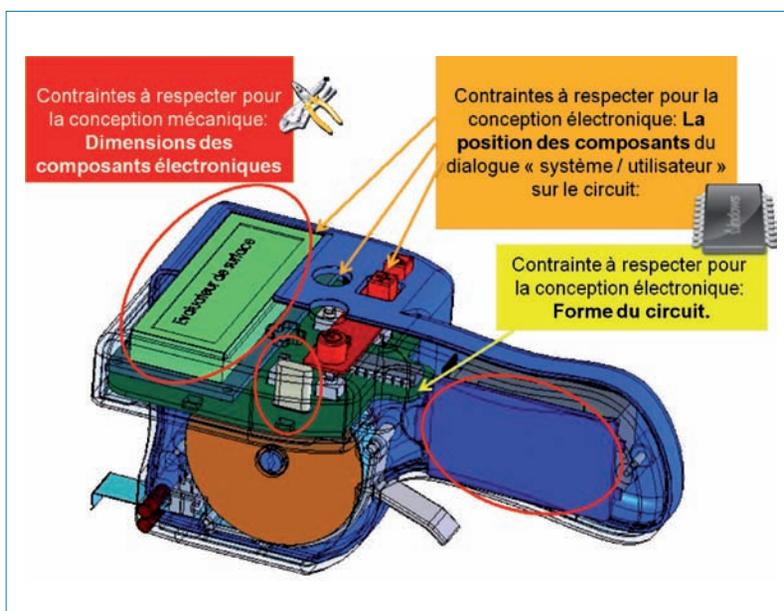
## Une ingénierie concourante

Historiquement, le cloisonnement entre l'électronique et la mécanique a conduit à découper chronologiquement l'étude de ces deux technologies en phase de conception. Dans l'ancien BTS Microtechniques, avec cette méthode dite séquentielle, on abordait les parties commande en fin d'étude, déportées dans une boîte annexée au système mécanique. Inversement, étudier d'abord la carte électronique et fixer un volume enveloppe comme contrainte à la conception mécanique risque de produire des systèmes tout aussi peu ergonomiques, et au design hasardeux.

L'étude en parallèle, avec échange d'informations entre les deux technologies, s'impose donc dans le domaine de la conception des systèmes mécatroniques, quand l'intégration de l'électronique devient une nécessité. Cela se vérifie dans tous les systèmes microtechniques où ergonomie, design et intégration sont des contraintes fortes lors de la conception. Des interactions entre l'électronique et la mécanique sont inévitables.

Nous nous plaçons dorénavant dans une démarche d'ingénierie simultanée où la prise en compte de l'électronique dans la conception mécanique apporte des contraintes dimensionnelles importantes. Pour l'électronique, la forme du circuit et le placement des composants participant au dialogue système-utilisateur, imposés par l'ergonomie et le design du système, deviennent aussi des contraintes lors de la conception.

Les produits **1** et **2** ainsi conçus – un évaluateur de brûlures et un distributeur de nourriture – illustrent ces contraintes mutuelles.



**1** Un évaluateur de brûlures pour urgentiste, projet d'étude en BTS CIM 2009

# intégrée

## Un exemple de projet en BTS CIM

Le thème du projet que nous allons suivre est une lampe écologique. Particularité du projet en BTS CIM (Conception et Industrialisation en Microtechniques), le travail de conception préliminaire est effectué par l'équipe enseignante. Il est consigné dans un dossier fourni aux étudiants en début d'étude en même temps que le cahier des charges. Les données d'entrée du projet sont donc les suivantes :

- Le cahier des charges :

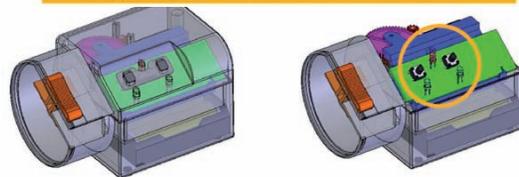
- Expression du besoin
- Diagramme des interacteurs
- Caractérisation des fonctions
- Schéma cinématique
- Maquette

- Le dossier de conception préliminaire :

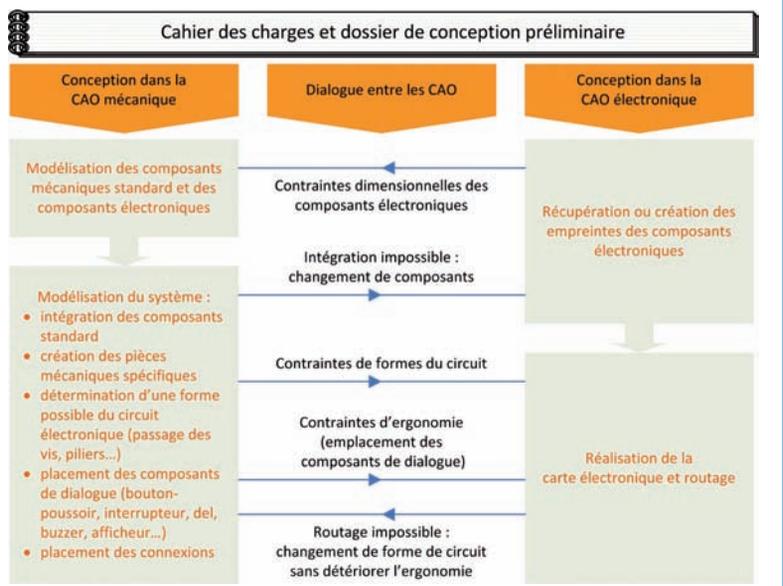
- Calculs de conception préliminaire
- Choix des composants mécaniques standard
- Choix des composants électroniques
- Schéma électronique
- Algorithme

Le travail de conception détaillée revient ensuite aux étudiants, qui doivent prendre en compte dès le début les contraintes dimensionnelles des éléments manufacturés standard, notamment des composants

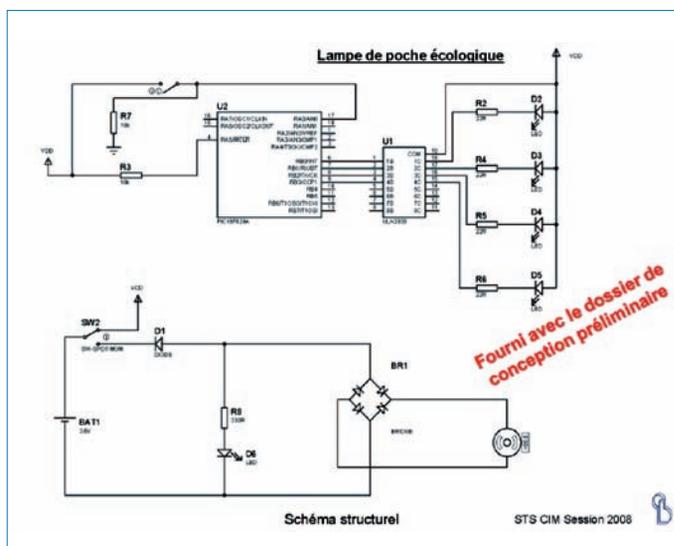
Contraintes à respecter pour la conception électronique: **La position des composants du dialogue « système / utilisateur » sur le circuit**



### 2 Un distributeur de nourriture pour aquarium



### 3 Le synoptique de la conception détaillée réalisée par les étudiants

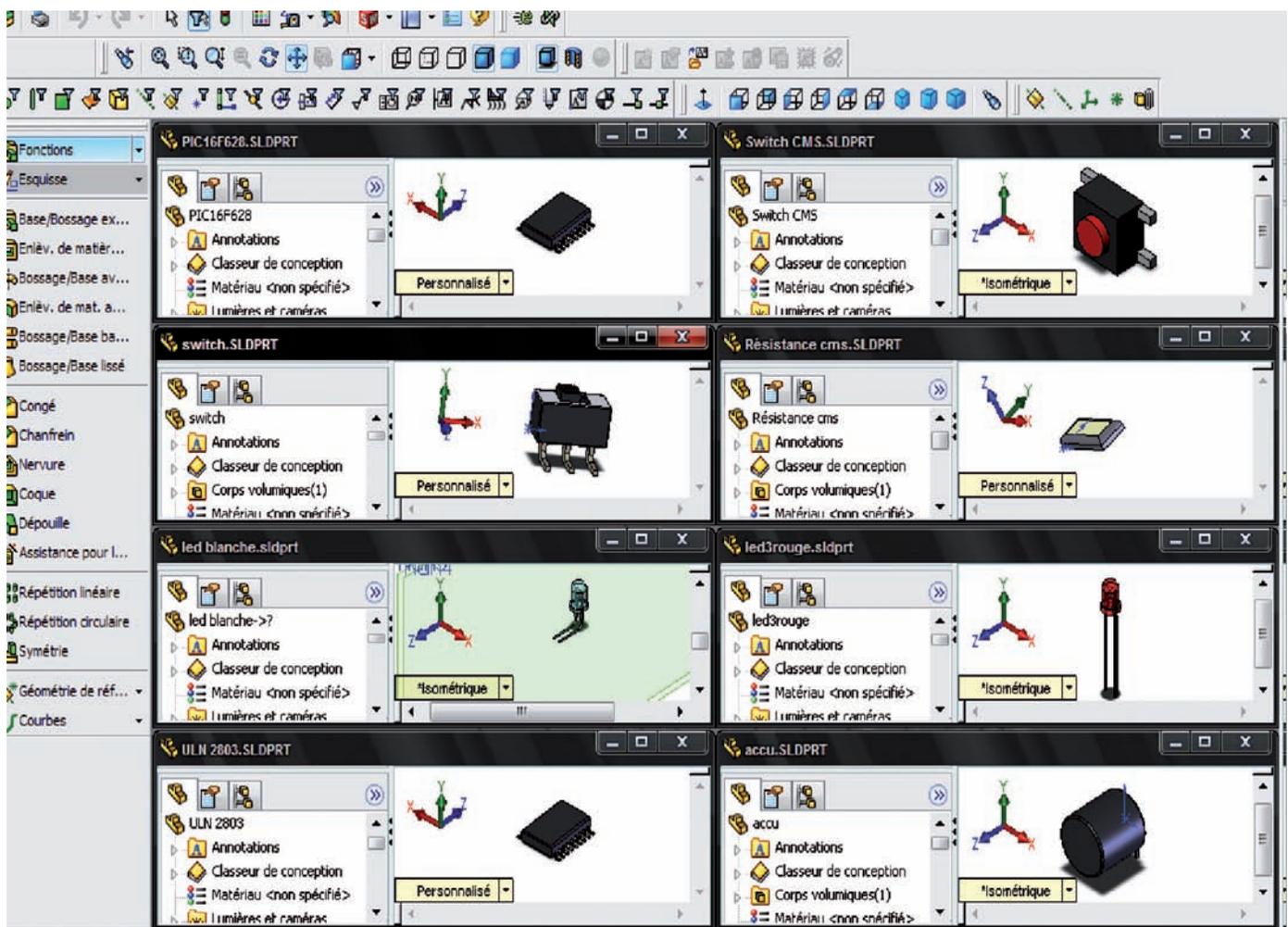


### 4 Le schéma structurel de la partie électronique du produit

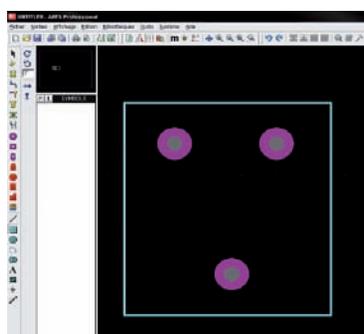
**Tableau de Suivi composants**

Composant	Fournisseur	Prix	Ref.	Date de la commande	Reçu le	Déjà en stock	Modération Saldewark	Symbole ISIS	Empreinte ARES
DEL	RS	€	486.6229	12/9/09	24/9/09	/	OUI	OUI	OUI

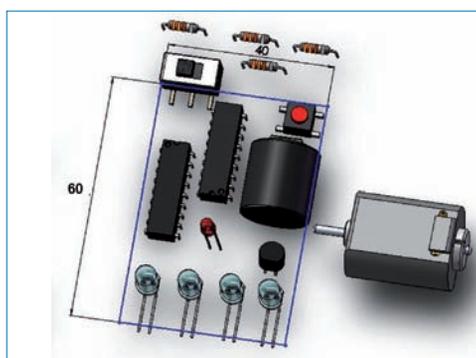
### 5 Le tableau de suivi des composants



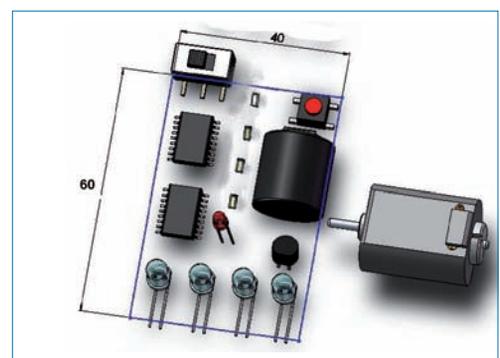
6 La modélisation des composants sous SolidWorks (CAO mécanique)



7 La création des empreintes de composant dans le logiciel de CAO électronique



8 Le volume de l'électronique est contraint dans le cadre bleu (60 x 40)



9 Le changement de technologie de composants ne permet pas de résoudre le problème

électroniques. Le synoptique 3 recense dans la zone de dialogue les différents échanges nécessaires entre les deux technologies.

Certaines contraintes peuvent être négociées (modèle du composant, type de boîtier...) pour faciliter l'intégration. D'autres concernant la forme définitive du circuit peuvent l'être aussi, si le routage (opération qui consiste à définir les interconnexions entre les composants d'un circuit) est impossible

à réaliser. À l'inverse, certaines contraintes sont quasi figées, car elles concernent les positions des composants du dialogue système-utilisateur, imposées par l'approche ergonomique du produit et son design.

**Les étapes de la conception détaillée**

Les élèves commencent par prendre en compte le schéma structurel 4 fourni dans le dossier de

conception préliminaire. Ensuite ils élaborent un document de suivi **5** qui permet de gérer les composants, de la conception préliminaire à la conception détaillée, de l'approvisionnement à la réception en passant par des stades intermédiaires, comme la récupération ou la création des modèles 3D du composant et de son empreinte dans le logiciel de CAO électronique.

**étape 1** La modélisation des composants électroniques ou leur récupération dans les bibliothèques pour les composants les plus courants **6**

**étape 2** La création des empreintes des composants dans le logiciel de CAO électronique pour les composants n'existant pas en bibliothèque **7**

La même démarche doit être suivie simultanément en conception mécanique en modélisant les composants manufacturés ou en les récupérant en bibliothèque (pignons, engrenages...).

Le cahier des charges imposant un volume enveloppe de 60 × 40 × 30 **8**, il apparaît rapidement nécessaire de réduire la surface occupée par l'ensemble des composants électroniques.

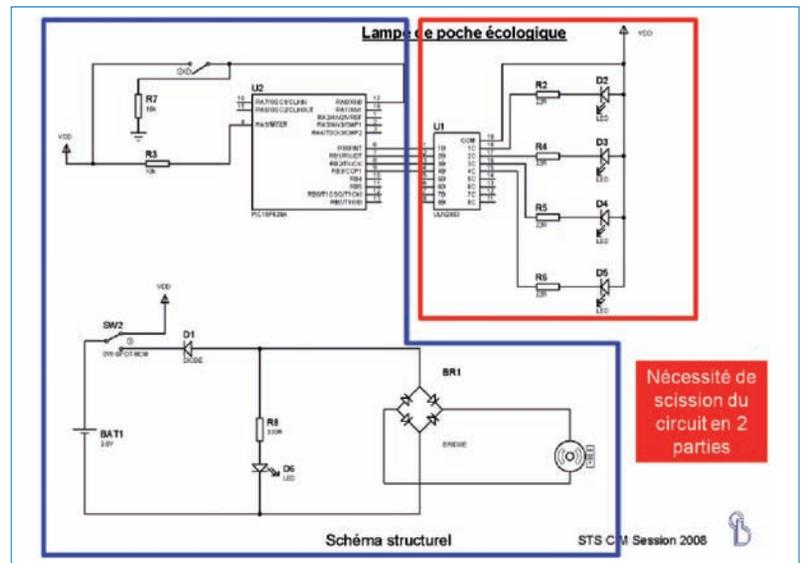
Le passage au boîtier CMS pour certains composants ne permet pas dans ce cas de réduire suffisamment la surface **9**. Il est donc nécessaire de scinder le circuit en deux : d'un côté la partie commande et l'alimentation (entourées en bleu sur la figure **10**), et de l'autre la partie puissance (en rouge).

**étape 3** La conception de l'assemblage

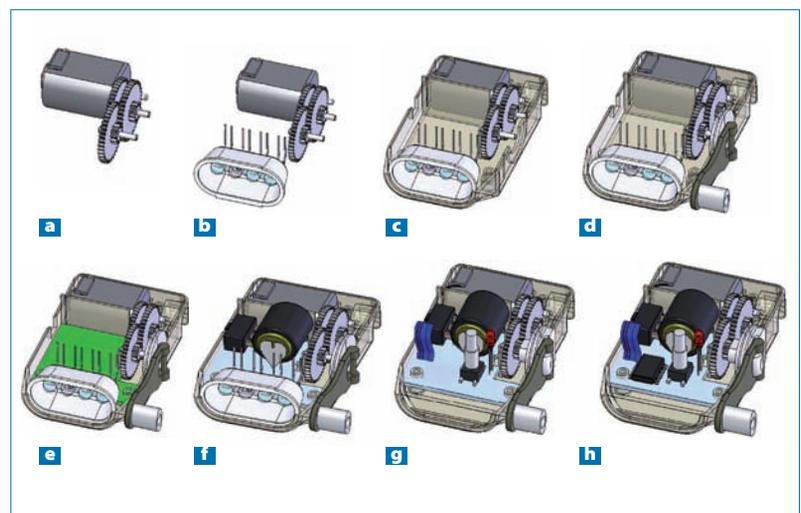
- Mise en place des composants manufacturés **11a 11b**
- Conception du boîtier inférieur, manivelle, support manivelle, demi-paliers **11c 11d**
- Création du circuit de la partie commande, utilisation de toute la surface du fond du boîtier inférieur **11e**
- Mise en place des composants qui ne pourront pas être déplacés par la conception électronique **11f 11g** : composants utilisés dans le dialogue système-utilisateur (bouton marche/arrêt, bouton-poussoir, del), composants volumineux (accumulateur), composants de communication (nappe)

Les autres composants peuvent être placés de manière arbitraire, ils ne deviendront pas une contrainte dans la conception électronique et pourront être éventuellement déplacés (microcontrôleur, pont de diodes, résistances, diode) **11h**.

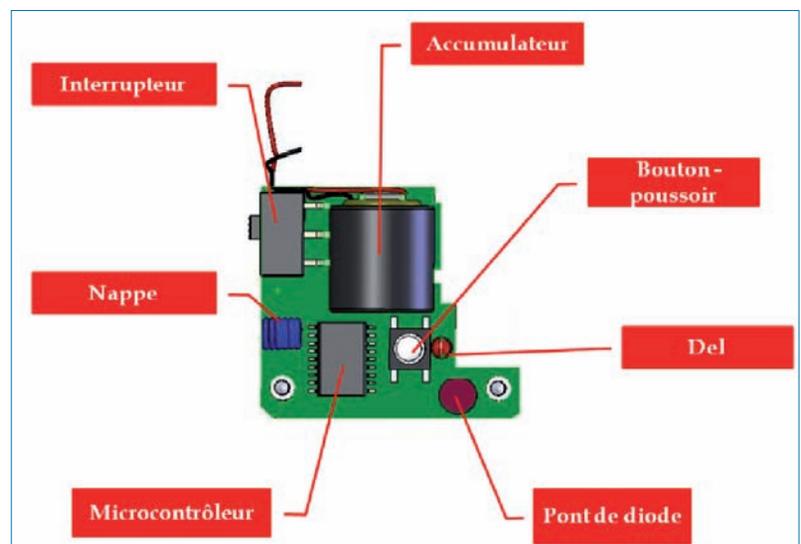
À l'issue de cette étape de conception, il faut s'assurer que le circuit électronique tel qu'il a été intégré **12** est réalisable. La méthode consistera à communiquer numériquement au logiciel de CAO d'électronique la forme du circuit, le placement des composants ayant une position imposée, et les passages de vis ou de piliers.



**10** La nécessité de scinder le circuit en deux parties délimitées par les traits rouge et bleu



**11** Le film du processus d'assemblage de la maquette numérique



**12** L'allure générale du circuit de commande et d'alimentation

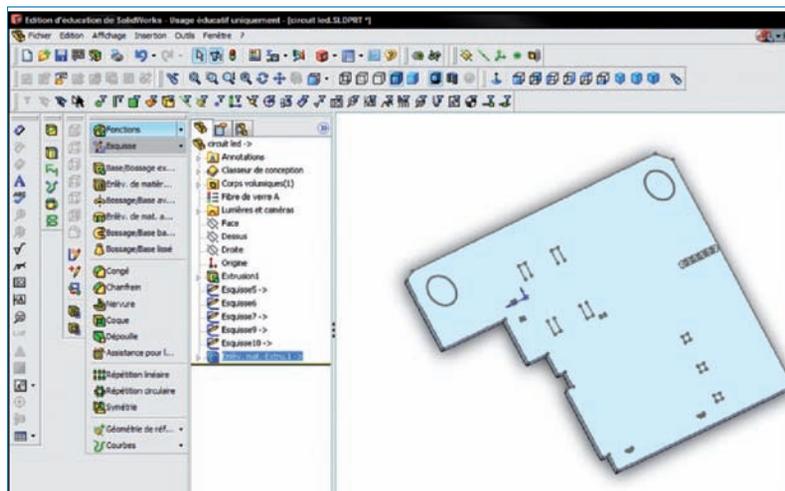
**étape 4** La création d'un lien entre les CAO mécanique et électronique

Le logiciel utilisé – SolidWorks dans notre exemple – permet de convertir les entités sélectionnées (arêtes des piliers, arêtes des pattes de composants électroniques fixés) **13**. Cette sélection se retrouve en segments d'esquisse sur le circuit **14**. Le format exportable vers le logiciel d'électronique est le format DXF. Il faut donc produire une mise en plan du circuit à l'échelle 1 **15**.

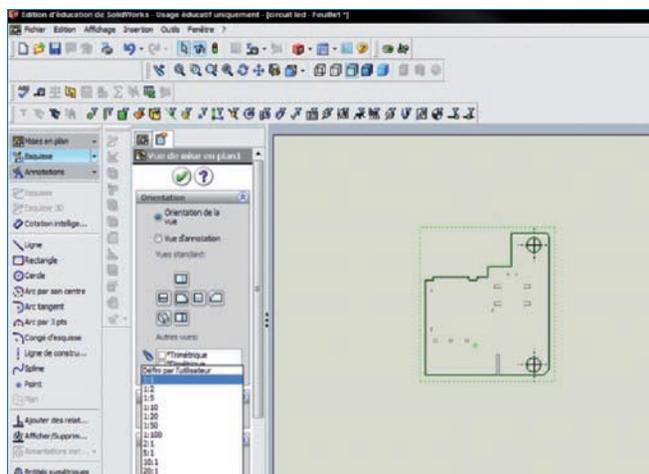
**étape 5** L'importation des données issues de SolidWorks dans Proteus



**13** La conversion sous SolidWorks des composants en segments d'esquisse



**14** Les segments d'esquisse sur le circuit sous SolidWorks



**15** La mise plan à l'échelle 1 sous SolidWorks et la création d'un fichier au format DXF pour le logiciel de CAO électronique

Dans un premier temps, il faut charger le schéma dans Isis, le module de saisie de schémas de Proteus (voir *Technologie* n<sup>os</sup> 153, 154 et 155) **16**. Il faut ensuite appeler le module de création de circuits, Ares, puis importer le fichier DXF généré dans SolidWorks **17**. On place le contour de circuit dans la couche Board Edge.

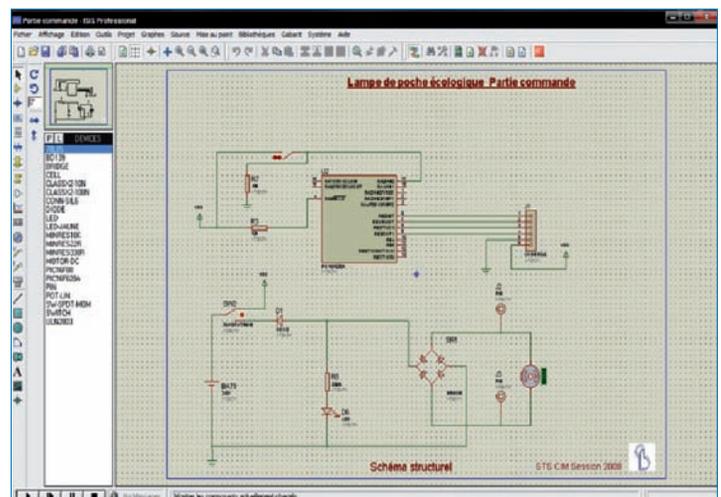
Le placement des empreintes de certains composants est contraint par les entités présentes sur le circuit ; pour les autres, le placement reste au libre choix de l'électronicien **18**. Le routage peut être lancé **19**. Deux possibilités :

- Le circuit est routé normalement, la conception est donc validée et la conception mécanique peut continuer ;
- Le circuit est surcontraint (placement des composants, taille du circuit), le routage de la carte est impossible. Il faut donc revoir la conception mécanique afin de libérer des contraintes dimensionnelles ou de placement de composants.

Quand la conception de ce premier circuit est validée, il est possible de passer au circuit de puissance. Le concepteur revient sous SolidWorks pour appliquer la démarche que nous venons de décrire :

- Détermination de la forme possible du circuit **20**
- Mise en place des composants électroniques **20**
- Conversion des entités en segments d'esquisse
- Mise en plan échelle 1 du circuit et exportation du fichier au format DXF
- Importation du fichier DXF dans le logiciel d'électronique
- Placement des empreintes
- Routage **21**
- Validation

La conception mécanique peut se terminer avec l'assurance d'une électronique intégrée viable **22**. La coïncidence parfaite des cartes électroniques avec les pièces mécaniques est rendue possible grâce au



**16** Le chargement du schéma dans le module Isis de Proteus

passage d'informations numériques entre les deux technologies.

**Conclusion**

Cette méthode basée sur une démarche d'ingénierie concourante permet d'obtenir en fin d'étude une conception sans surprise, la validation de l'intégration des parties commande se faisant au cours de la conception et non à la fin. L'échange d'informations, et notamment d'informations numériques, permet de baliser la conception avec des contraintes, ce qui prévient les oublis ou les erreurs d'interprétation.

On retrouve donc des étudiants de BTS CIM avançant pendant leurs heures de « bureau d'études » sur leur carte électronique, ou d'autres utilisant les outils de CAO mécanique pendant le temps dédié à l'électronique. Un changement qui doit bien évidemment être soutenu par une équipe pédagogique convaincue de l'intérêt de la démarche. ■

**LE BTS CIM**

Avant 1980, l'objet phare de la micromécanique était l'horlogerie. Ce domaine, qui fut un des fleurons de l'industrie française, a été révolutionné par l'utilisation du quartz, mise au point par les ingénieurs de Lip à Besançon, puis de l'électronique et des composants miniaturisés. Les produits sont devenus pluritechnologiques, de plus en plus complexes, et la micromécanique s'est transformée en *microtechniques*.

L'observation et l'étude ont toujours fait partie des pratiques d'enseignement de la filière, au moyen de l'*appareillage*. L'instrumentation, les appareils de bord, de mesure et de contrôle ont évolué en *microsystèmes*, s'ouvrant à l'électronique.

Du BTS Micromécanique on est passé au BTS Microtechniques en 1987, puis, en 2003, au BTS CIM (Conception et Industrialisation en Microtechniques).

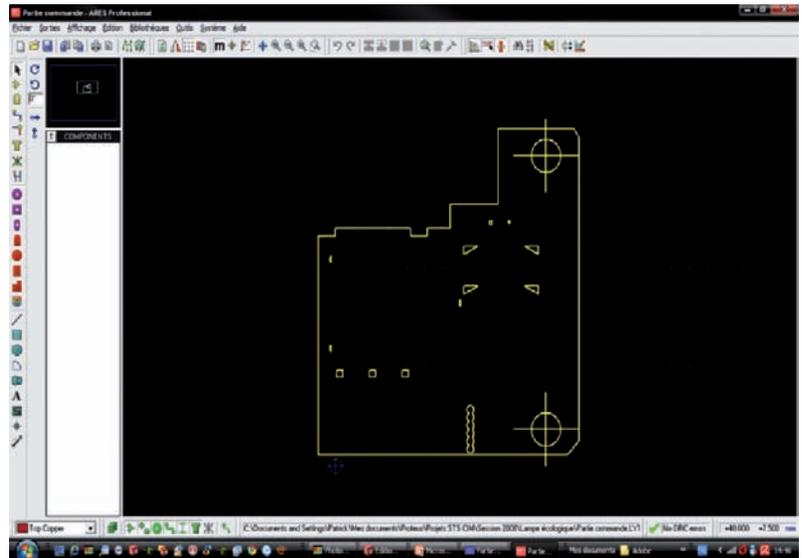
L'intégration de composants électroniques dans les produits y a toute sa place. Cela n'est rendu possible que par un travail collaboratif des enseignants de mécanique et d'électronique. D'autant plus que la continuité de la chaîne numérique est une des contraintes fortes du développement d'un produit, tant dans la gestion des fichiers qu'entre l'électronique et la mécanique. Le projet est organisé en deux parties, à partir d'une conception préliminaire: la conception détaillée du produit; la préindustrialisation et la réalisation des outillages de validation.

Aujourd'hui, 33 sections de BTS CIM sont réparties sur le territoire français, notamment là où était déjà implantée la filière micromécanique, avec une forte concentration en région parisienne.

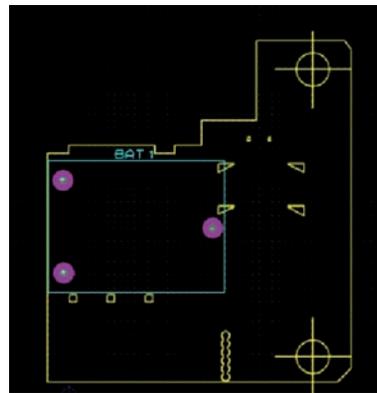
Depuis 2005, il existe un centre national de ressources consacré aux microtechniques, dont le site est hébergé par le Cerpet :

<https://www.cerpet.adc.education.fr>

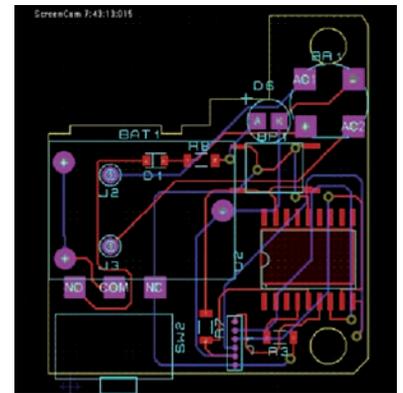
Richard ALLARD  
Animateur national de la filière Microtechniques  
richard.allard@orange.fr



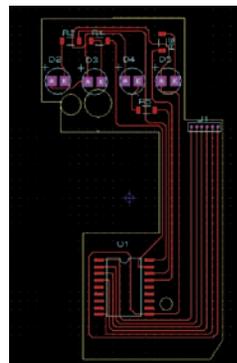
17 L'importation du fichier DXF généré par SolidWorks



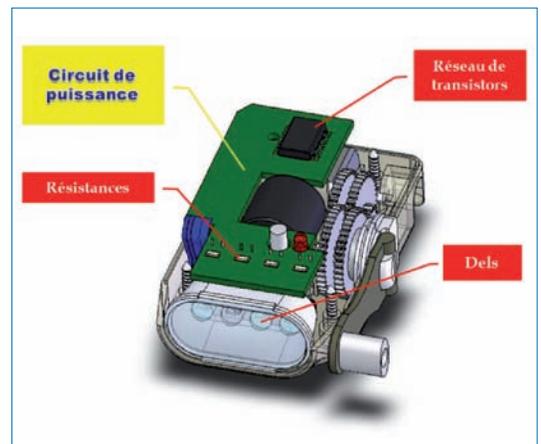
18 Le placement des empreintes des composants



19 Le routage du circuit



20 La conception a priori sous SolidWorks du circuit de puissance



21 Le routage du circuit de puissance



22 Un produit fini bien conçu !