

# Contribution à la pédagogie par projet : retour d'expérience en conception de systèmes mécatroniques à l'ENS Rennes

Damien Grenier, Olivier Kerbrat, Florent Le Bourhis, Charles Pontonnier

## ► To cite this version:

Damien Grenier, Olivier Kerbrat, Florent Le Bourhis, Charles Pontonnier. Contribution à la pédagogie par projet : retour d'expérience en conception de systèmes mécatroniques à l'ENS Rennes. La Revue 3 E. I, Société de l'électricité, de l'électronique et des technologies de l'information et de la communication, 2014, 76, pp.1-8. hal-01010352

**HAL Id: hal-01010352**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01010352>**

Submitted on 19 Jun 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Contribution à la pédagogie par projet : retour d'expérience en conception de systèmes mécatroniques à l'ENS Rennes

**DAMIEN GRENIER, OLIVIER KERBRAT, FLORENT LE BOURHIS, CHARLES PONTONNIER.**  
Ecole normale supérieure de Rennes, Département de Mécatronique, Campus de Ker Lann, 35170 Bruz  
Contact : damien.grenier@ens-rennes.fr

*La formation en mécatronique de l'École normale supérieure (ENS) de Rennes est une formation pluridisciplinaire qui trouve sa cohérence à travers des enseignements par projets. Pour que de tels projets soient une réussite, notre expérience montre qu'ils doivent remplir un certain nombre de conditions, à savoir : proposer un défi mobilisateur, faire en sorte que ce défi soit effectivement relevé et que le travail effectué soit valorisé aux yeux des étudiants. L'encadrement du projet doit par ailleurs être subtilement dosé entre planification imposée par l'équipe enseignante et autonomie laissée aux étudiants pour mener « seuls » ce projet qui doit rester d'abord le leur. Des outils ont ainsi été mis en place pour suivre le travail des étudiants au plus près sans leur donner pour autant l'impression d'être trop intrusifs. Cet article vise à proposer le retour d'expériences des encadrants du projet de conception de systèmes mécatroniques effectué en première année à l'ENS Rennes.*

## 1. Contexte : la formation en mécatronique à l'ENS Rennes

La formation en mécatronique dispensée à l'École normale supérieure (ENS) de Rennes repose sur un parcours à double diplôme. Recrutés à la sortie des classes préparatoires aux grandes écoles ou équivalent, les étudiants du magistère de mécatronique préparent, en première année, simultanément une licence (L3) en électronique et une licence en mécanique de l'université de Rennes 1. En deuxième année, ils préparent, de même, simultanément une première année de master (M1) d'électronique et un M1 de mécanique de cette même université.

D'un point de vue pratique, les étudiants suivent des modules de la licence 3 ou du master 1 de l'université de Rennes 1 d'électronique pour un volume d'environ 30 ECTS, des modules de la formation de Rennes 1 en mécanique pour également 30 ECTS et des modules de substitution organisés par l'ENS Rennes pour également 30 ECTS.

Ces modules de substitution qui comptent pour les deux diplômes, permettent ainsi de valider 2 fois 60 ECTS c'est à dire deux licences ou deux masters 1, pour une charge de travail des étudiants de « seulement » 90 ECTS environ [1].

Parmi ces modules de substitution, on retrouve des cours de formation non strictement disciplinaires (mathématiques pour l'ingénieur, anglais, ...) dont la duplication dans chacun des parcours en électronique et en mécanique n'aurait pas de sens. On retrouve aussi et surtout des modules qui donnent toute sa cohérence à cette formation bi-disciplinaire et parmi lesquels des projets.

Les étudiants sont confrontés à un projet par semestre en licence 3 et un projet annuel pour le master 1.

L'objectif du projet du premier semestre de la licence est d'analyser un système mécatronique en étudiant un système industriel. Ils voient ainsi comment une fonction donnée est réalisée soit par des moyens électroniques, soit par des moyens mécaniques, soit les deux. À travers cette étude, ils essayent évidemment de comprendre pourquoi tel ou tel choix a été fait par les concepteurs du système.

Le projet de second semestre de licence vise à la conception et la réalisation d'une ou plusieurs fonctions au sein d'un système. Le projet de master 1 reprendra peu ou prou la même démarche mais sur un système plus ambitieux (et donc plus complexe), impliquant généralement l'ensemble de la promotion, là où le projet de licence fait travailler les étudiants par groupe de 3 à 4.

C'est l'organisation de ces projets de conception et de réalisation de systèmes mécatronique et plus particulièrement celle du projet de licence 3, plus concentré dans le temps et donc plus structuré qui sera détaillée dans ce qui suit.

## 2. Les projets dans le dispositif pédagogique

Dans nos disciplines de sciences de l'ingénieur, les projets prennent logiquement une place de plus en plus importante. C'est notamment le cas dès le début des cycles de formation au niveau du bac. Ainsi, la formation en STI2D consacre une part importante de l'apprentissage à des projets où les étudiants acquièrent des compétences méthodologiques en conception : établissement d'un cahier des charges, proposition de solutions, évaluations de celles-ci et développement d'un prototype [2]. C'est exactement ce type de compétences (qu'il serait utile que de futurs agrégés maîtrisent !) que nous avons voulu faire acquérir à nos étudiants à travers les projets de la formation en mécatronique.

On peut avoir un débat intéressant pour savoir si, quand on met en œuvre un projet, on doit faire une pédagogie « du projet » ou une pédagogie « par projet ».

En d'autres mots, de savoir si le projet doit être l'occasion pour les étudiants d'appliquer des connaissances et compétences acquises dans les cours précédents et de constater la cohérence et la complémentarité des différents cours de leur parcours.

Ou au contraire, si le projet doit être l'occasion de développer une pédagogie active où l'étudiant, confronté aux questions que soulève le projet, va à la recherche de connaissances et de compétences nouvelles (devenant ainsi acteur de sa propre formation). Compétences que l'enseignant éventuellement restructurera a posteriori.

Ce qu'on pourrait caricaturer par la question « faut-il donner le cours avant le projet ou le projet avant le cours ? ».

En fait tous ceux qui ont été confrontés à cette question savent qu'elle ne se pose pas vraiment en ces termes.

D'abord parce que la question des connaissances et des compétences susceptibles d'être acquises avant le projet ou découvertes pendant, aura autant de réponses que d'étudiants. Nous « héritons » d'étudiants qui ont des parcours antérieurs différents. Les compétences à mettre en application pour les uns sont des compétences à découvrir pour d'autres. Et vice-versa.

Ensuite parce la question d'une pédagogie « du projet » ou « par projet » (au sens où nous venons de le définir) fait rarement l'objet d'une réflexion stratégique a priori. Elle s'impose souvent pour des raisons pratiques d'emplois du temps, de coordination des enseignements avec d'autres parcours, d'autres formations. C'est particulièrement vrai à l'ENS Rennes où nous mutualisons les 2/3 de notre enseignement avec l'université de Rennes 1 !

Et que, surtout, on s'aperçoit souvent que le fait d'avoir acquis certaines connaissances scientifiques et techniques avant ou pendant le projet ne modifie pas significativement l'efficacité du processus d'apprentissage. Ce qui est beaucoup plus déterminant, c'est d'avoir un projet motivant dans lequel les étudiants vont s'investir et y consacrer du temps. Ce qui finira toujours par payer en termes de compétences acquises.

Pour avoir un projet motivant, il faut, selon notre expérience, réunir trois conditions :

- **Proposer un défi mobilisateur.**

Un *défi* parce que la tâche proposée ne doit pas paraître trop simple aux yeux des étudiants. Ils doivent même être convaincus en début d'année de n'avoir pas encore le niveau pour relever le défi proposé. Ainsi en fin d'année, le fait d'avoir pu le mener à terme sera une mesure des progrès accomplis tout au long de l'année.

Mobilisateur, parce que intéressant aux yeux des étudiants. De tous les étudiants. Ce qui suppose souvent de couvrir un large spectre des matières du programme de formation. C'est pour cela qu'un projet attaché à un cours est souvent moins motivant

qu'un projet qui fait la synthèse de plusieurs matières.

Une autre façon de mobiliser les étudiants est de les mettre en compétition.

Soit avec d'autres établissements au travers de concours type E=m6 [3], e-Kart [4], Educ-Eco [5]...

Ce que nous avons fait dans le cadre des projets de Master 1. Mais où, en contrepartie, on perd la maîtrise du sujet.

Soit en organisant une « compétition » interne où la promotion est divisée en plusieurs groupes qui tentent de relever le même défi. Qui est le choix que nous avons fait pour le projet de L3.

- **S'assurer que le défi soit relevé.**

D'un point de vue pédagogique, le fait que les étudiants aient ou non relevé le défi est sans trop d'importance. On apprend souvent tout autant (si ce n'est plus!) de ses échecs que de ses réussites. Et c'est plus le chemin, la démarche qui compte que le résultat technique.

Mais si on veut avoir l'effet « mesure des progrès accomplis » évoqué plus haut et garder intacte la motivation des étudiants face aux défis ambitieux qui leur sont proposés, il est important que le projet « réussisse ».

Cela est en outre indispensable pour qu'existe un lien de confiance entre étudiants et équipe enseignante. Quand on leur dit en début de l'année : « nous allons réaliser ceci, qui vous paraît impossible à réaliser aujourd'hui mais que, grâce aux connaissances que vous allez acquérir tout au long de l'année, vous allez tout de même réussir à réaliser », les étudiants sont tous disposés à croire l'équipe. Pour autant que l'expérience des années précédentes ne démontre pas le contraire.

Relever le défi est donc surtout important pour les étudiants des années à venir.

- **Valoriser le travail réalisé**

Il est également fondamental de penser, dès le début du projet, à intégrer la valorisation finale du travail qui sera réalisé. En effet, il est très motivant pour les étudiants de voir que le projet n'est pas uniquement dédié à leur apprentissage, mais que le travail réalisé va être « utile ». En servant éventuellement de support pour des actions de communications de l'École ou du département, en étant utilisé par la suite comme support d'activités de formation...

Nous demandons à nos étudiants de penser tout au long de leur projet à la création d'outils de communications en lien avec le système réalisé. Cela se traduit par exemple par la réalisation d'un teaser, film d'une minute annonçant la soutenance publique à venir avec démonstration sur le prototype en cours de finalisation. Chaque groupe a réalisé son film, l'ensemble a été diffusé via le service communication de l'ENS. Des posters ont également été réalisés par les étudiants (un par groupe, format A1) qui ont été affichés dans les couloirs. Ils contribuent à laisser une trace des activités des étudiants au profit des années suivantes, de ceux des autres formations, et plus généralement

de tous les visiteurs potentiels du département...

Le caractère public de la présentation finale est également quelque chose d'important pour la motivation des étudiants. Face à la direction de l'école, face à l'ensemble des professeurs du département, face aux élèves des autres années, face à ceux des autres départements de l'école, il est essentiel que la démonstration fonctionne et si possible impressionne. Ce n'est pas seulement leur note à une UE donnée qu'ils défendent. Ce sont les couleurs de leur promotion, celles du département, celles de l'Ecole !

Pour la réussite du projet, la composition de l'équipe pédagogique n'est pas anodine. Il est en effet essentiel de chercher à maximiser les champs de compétences balayés par les différents enseignants, ce qui permettra aux élèves d'avoir une approche robuste de conception orientée « systèmes », tenant compte de l'ensemble des problématiques. Dans le cadre d'une formation mécatronique, il est par exemple extrêmement judicieux de réunir une équipe de mécaniciens, d'électriciens / électroniciens, d'automaticiens ainsi que des spécialistes de la fabrication / production.

Par ailleurs il est très important d'impliquer dans le projet les responsables des plateformes techniques, qui seront régulièrement sollicités par les élèves que ce soit d'un point de vue électrique (réalisation de circuit imprimé) que d'un point de vue mécanique (usinage, fabrication). Il est donc nécessaire que ces derniers soient tenus au courant des avancées des élèves ainsi que de leurs éventuelles implications dans le projet, afin qu'ils puissent pleinement faire profiter les élèves de leur expertise et qu'ils puissent réaliser dans les temps impartis les tâches leur incombant.

### 3. Organisation du projet

Réussir un projet suppose un encadrement très strict en ce qui concerne son organisation et sa planification. Tout « l'art » consiste à encadrer le projet mais sans le diriger, sans prendre le rôle de chef de projet et de coordinateur qui doit revenir aux étudiants. Du moins si on souhaite à travers le projet leur transmettre aussi des compétences en « gestion de projet ».

Comme les étudiants sont le plus souvent incapables de gérer leur temps sur la durée (ils ont une nette tendance à la procrastination), cela passe, par exemple, par une

planification des tâches avec des échéances régulières.

Pour le projet du second semestre de L3 / première année du magistère de mécatronique de l'ENS Rennes, qui s'étale sur 14 semaines, nous avons placé 3 échéances majeures (Figure 1) :

- au bout de 3 semaines : rédaction du cahier des charges et présentation d'un avant-projet
- au bout de 12 semaines : présentation du premier prototype
- au bout de 14 semaines : présentation publique du prototype final

Chacune de ces étapes se conclut par la remise d'un rapport, une présentation de 15mn + 15mn de question par groupes. Ces présentations sont nécessaires pour la formation des étudiants car elles permettent de formaliser leur idées qu'ils seront amenés à défendre. Cela permet en outre de donner une certaine importance à leur projet que l'on ne retrouve pas forcément avec l'écriture d'un rapport.

De plus à la fin de chaque séance, il est demandé à un étudiant à tour de rôle de rédiger un rapport de quelques lignes sur l'état d'avancement de leur travail.

Ce rapport sert de nouveau sujet pour le « forum en ligne » sur la plateforme moodle de l'Ecole. Cela permet aux étudiants de venir le corriger ou compléter le compte-rendu, aux enseignants de faire des commentaires ou de poser des questions au groupe.

Il est ainsi possible de garder une trace de tout le travail réalisé semaine après semaine, y compris des pistes abandonnées.

Cela facilite grandement le travail d'encadrement. L'équipe enseignante comprend en effet 3 personnes dont seulement 2 sont présentes par roulement à chaque séance. La 3ème peut être ainsi informée de tout ce qui s'est dit et vu pendant la séance où elle n'était pas là. Et réagir en conséquence.

### 4. Cahier des charges et avant-projet

Cette première phase du projet est très structurée et encadrée. L'objectif est de lancer le projet, de le mettre sur les (bons) rails pour pouvoir après laisser plus de liberté d'organisation aux étudiants.

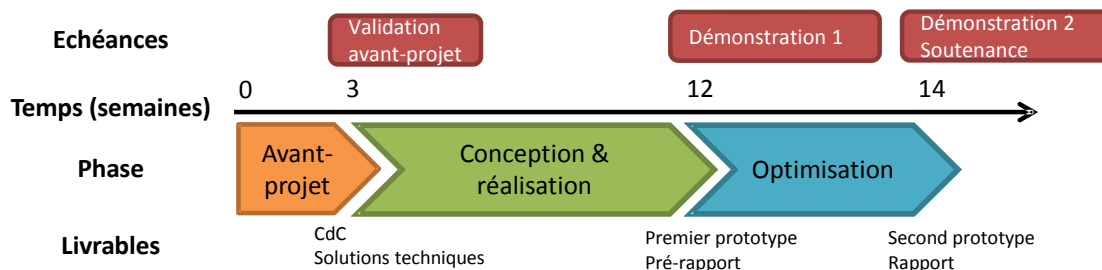


Figure 1 : planification du projet

Le sujet est proposé aux étudiants de façon assez concise. On se limite généralement à une description sur une page A4. Ainsi en 2012, on avait demandé aux étudiants de « concevoir une pince robotique capable de saisir et transporter une canette de soda ou une briquette carton de jus de fruit, même ouverte, sans la renverser, ni l'écraser ». En 2013, on leur demandait de « concevoir et réaliser une flûte mécatronique pour lui faire jouer automatiquement des airs de musiques programmés » accompagné de la partition de deux exemples de morceaux à jouer. En 2014, le même thème a été traité mais avec un ukulélé au lieu d'une flûte.

À partir d'une simple description de ce type, les étudiants doivent rédiger un cahier des charges détaillant toutes les fonctions que le dispositif devra remplir, les performances attendues et les contraintes qu'il faudra prendre en compte.

Ainsi, jouer de la flûte se traduit notamment en jouer « juste » : la fréquence des notes produites doit être *reproductible*. L'instrument peut nécessiter d'être *accordé*, ce qui signifiera qu'un dispositif de réglage doit être intégré au système.

Cela se traduit aussi par jouer en *rythme*, ce qui suppose que l'on puisse enchaîner les notes à une certaine vitesse. Les étudiants se sont aussi rendus compte à la lecture des partitions des deux exemples, qu'il fallait aussi être capable de jouer deux fois de suite la même note. Ce qui suppose de pouvoir *arrêter de souffler* dans la flûte puis de reprendre, soit une fonction de plus à inscrire dans le cahier des charges.

Dans le cas d'un ukulélé, la partition peut contenir des accords nécessitant de jouer plusieurs notes en même temps.

On leur demande ensuite pour chaque fonction à réaliser, d'effectuer un « brainstorming » pour proposer diverses solutions. Ils choisissent ensuite des critères pour évaluer ces différentes solutions et les comparer. Ils peuvent par exemple utiliser la méthode AHP (Analytic Hierachy Process) pour classer ces solutions entre elles et justifier leur choix [6].

Cette phase du projet est assez critique et souvent difficilement comprise par les étudiants, qui mettent en œuvre les outils d'évaluation proposée pour seulement « habiller » un choix fait de façon parfois totalement arbitraire. Ainsi par exemple, pour le projet de l'année 2012 où l'on demandait aux étudiants de concevoir un pince pour saisir des canettes ou des briquettes carton de boissons, un groupe d'étudiants avait vu sur internet des images d'une pince utilisant un ballon rempli de café moulu qui permettait, par dépression, de saisir toute sorte d'objet [7]. Ils se sont mis en tête de réaliser un tel objet même si cela ne correspondait pas vraiment au cahier des charges initial. Notamment du fait du poids de la pince qui (et cela était bien précisé dans le sujet), ne devait pas dépasser un certain seuil. Leur envie de mettre en œuvre cette solution extrêmement originale leur a fait, dans leur analyse des solutions, totalement minimiser cette contrainte. De telle sorte qu'au final

cette solution a pu émerger comme étant la meilleure, même si objectivement ce n'était pas le cas. L'équipe enseignante, soucieuse de garder intacte la (grande) motivation du groupe n'a pas voulu s'opposer à ce choix pourtant peu rigoureux... Au détriment, et nous en sommes conscients des objectifs pédagogiques de gestion rigoureuse de projet.

## 5. Validation du projet

À l'issue de cette première phase, doit émerger un avant-projet qui est présenté pour validation à l'équipe enseignante.

C'est, du point de vue des enseignants, le moment le plus critique du projet.

Il s'agit en effet, à partir d'une idée de solution rapidement esquissée, d'estimer si un projet pourra être ou non être réalisé par un groupe d'étudiant donné, dans les délais impartis et avec les moyens matériels dont on dispose.

Or beaucoup d'inconnues rentrent en jeu :

- Entre le « brainstorming » qui a fait émerger l'idée et sa présentation sous la forme d'un avant-projet, il ne s'est écoulé en général qu'une ou deux séances. Pas assez pour mener des études poussées de faisabilité. Juste assez pour éventuellement avoir mené un ou deux calculs de dimensionnement. L'équipe enseignante ne dispose pas de beaucoup d'informations pour valider les choix faits par les étudiants.

On retrouve donc ainsi le paradoxe classique de la gestion de projet : c'est en phase de conception préliminaire que l'on a le plus de moyens d'actions sur le projet ; mais c'est aussi à ce moment, que l'on a le moins de connaissances sur le produit final. D'où la difficulté pour faire des choix pertinents alors même qu'une fois ces choix sont faits, ils impacteront énormément le produit final.

- Même si cela en fait encore peu d'heures que les étudiants travaillent sur le projet, ils ont toutefois déjà commencé à se l'approprier. Ils ne seront donc pas toujours réceptifs à une remise en cause de leur travail et de leurs choix, surtout si cette remise en question n'est pas solidement étayée par des arguments scientifiques et techniques.
- À ce moment du projet, on attend des enseignants qu'ils se comportent comme des conseillers « seniors » qui mettent leur expérience au service des étudiants pour les conseiller, les aider, leur éviter de s'engager dans des voies trop risquées qui pourraient les conduire à l'échec. Mais d'un autre côté, ni eux ni surtout les étudiants ne peuvent oublier que, in fine, ce sont eux qui les évalueront, les jugeront. Voire ont déjà commencé à juger le travail accompli. Et qu'il appartient donc aux étudiants de le défendre « coûte que coûte ».

Le dialogue avec les étudiants n'est donc pas toujours aisé ni dénué d'arrière-pensées. Les étudiants se montrent parfois peu réceptifs aux arguments de l'équipe enseignante par ailleurs peu étayés.

On pourrait penser qu'en plaçant cette séance de validation des avant-projets plus tard, les étudiants auraient la possibilité de pousser davantage les études de faisabilité nécessaires (et « subtilement » suggérées par l'équipe enseignante). Et ainsi se rendre compte « par eux-mêmes » des éventuelles impasses vers lesquelles ils se dirigent.

Mais l'expérience montre qu'ils s'attacheraient encore davantage à « leur » solution, cherchant tous les moyens pour contourner les obstacles qui se dressent devant eux plutôt que d'accepter de remettre en cause leurs choix initiaux.

Ou au contraire, pour d'autres groupes, à force de doutes, de discussions au sein du groupe et de remise en cause des débuts de solutions trouvées, avoir l'impression de n'avancer dans aucune direction particulière, être découragés et perdre toute motivation.

Une prise de décision relativement rapide sur la solution à réaliser est donc plutôt salutaire pour la suite du projet. Car passé cette séance, les objectifs du projet changent. Le défi n'est plus de réaliser un système répondant à un cahier des charges donné mais de réaliser un dispositif conforme à l'avant-projet proposé et accepté par l'équipe enseignante.

Celle-ci ayant validé cet avant-projet, les étudiants ne sont plus seuls responsables des décisions prises pendant son élaboration. Pour être plus exact, les étudiants vont dorénavant estimer l'équipe enseignante responsable de ne pas avoir su voir à temps les problèmes posés par les mauvais choix effectués. Mais par contre s'attribuer le mérite des choix pertinents, intelligents, astucieux réalisés. Même si certains d'entre eux ont pu à l'origine être suggérés par l'équipe enseignante...

## 6. Conception détaillée et réalisation

Cette phase du travail, la plus longue (9 semaines sur les 14 que compte le projet), est aussi celle où les étudiants sont les plus « livrés à eux-mêmes ».

L'équipe enseignante est certes là pour les aider, leur apporter des compétences qui pourraient leur manquer, ou leur donner des indications pour aller chercher les informations nécessaires.

Théoriquement, il appartiendrait aux élèves de solliciter cette aide auprès des enseignants en fonction de la spécialité de ceux-ci. Mais il arrive bien souvent que les enseignants interviennent d'eux-mêmes.

La mise au point des prototypes est souvent une tâche complexe et les élèves peuvent manquer de discernement devant l'échec de leur réalisation. Un œil neuf et détaché permet notamment de mettre le doigt sur les points de blocage et d'apporter un éventail de solutions scientifiques et techniques salvatrices.

Il revient également normalement aux étudiants de gérer leur temps, la répartition du travail au sein du groupe, d'anticiper sur les délais de commande des pièces ou de leur fabrication quand celle-ci est confiée à l'atelier. Dans ce dernier cas, c'est à eux d'aller voir les

techniciens, pour discuter des plans, éventuellement les adapter pour en faciliter la fabrication. Mais là aussi, il arrive assez souvent que les enseignants interviennent pour attirer l'attention des étudiants sur les problèmes à venir qu'ils n'anticipent pas toujours suffisamment. Le département de mécatronique disposant de divers moyens de fabrication que ce soit par usinage ou par ajout de matière (dépôt de fil plastique fondu), il convient en effet que les étudiants fassent aussi le choix du procédé le plus adapté à chacune de leur pièce, et conçoivent leurs pièces pour tenir compte des spécificités (opportunités et contraintes) du procédé choisi.

C'est à travers la procédure de suivi de projet (cf. section 3) que les enseignants gardent un œil attentif sur toutes ces questions, sans donner l'impression d'être trop intrusif auprès des groupes étudiants.

Cette phase de 9 semaines est augmentée d'une phase d'amélioration du prototype de 2 semaines supplémentaires. En théorie, à l'issue des 9 premières semaines, le travail réalisé est présenté, analysé, les performances du prototype réalisé sont évaluées. Des améliorations (souvent notables) sont suggérées aux étudiants, à charge pour eux de les réaliser dans les 2 semaines restantes.

L'expérience montre qu'il n'en est souvent rien. Le prototype n'est pas prêt, les étudiants se sont montrés incapables de respecter l'échéance. Néanmoins, la mise en place de tel jalon est essentielle pour que les étudiants ne se laissent encore davantage aller. Les 2 semaines de répit serviront donc souvent seulement à obtenir enfin un premier prototype fonctionnel, nécessairement très imparfait mais répondant plus ou moins au cahier des charges.

Éventuellement le groupe d'étudiant et l'équipe enseignante peuvent revoir les contours et les exigences du système à réaliser. Pour des groupes particulièrement en retard, il est en effet possible de se mettre d'accord sur des objectifs revus à la baisse. Aussi, pour le projet de 2013 portant sur une flûte mécatronique, l'équipe enseignante a accepté pour un des projets la réalisation d'une flûte ne pouvant jouer que 4 notes, histoire de démontrer à tout le moins la faisabilité du concept retenu qui était par ailleurs très pertinent.

Pour les groupes en avance sur le planning (cela arrive toute de même parfois !), souvent plus parce qu'ils ont opté pour une solution au final plus facile à mettre en œuvre, on pourra au contraire revoir les objectifs à la hausse en ajoutant des options non-prévues initialement. Pour le projet 2012 dont l'objet était de réaliser une pince (Figure 2) les étudiants ont suggéré de profiter des semaines restantes pour ajouter un capteur permettant de détecter la présence ou non de l'objet à saisir.

Cette phase d'ajustement permet de réparer les erreurs d'appréciation éventuellement commises pendant la phase de validation (cf. section 5) et ainsi de finir, dans tous les cas où presque, avec un projet que les étudiants peuvent être fiers de présenter publiquement.



Figure 2 : Projet 2012 : pince permettant de saisir des canettes de soda ou des briquettes en carton de jus de fruit, même ouvertes, sans les renverser, ni les écraser.

## 7. Exemple du projet 2013 : la flûte mécatronique

Dans cette section, on va s'intéresser plus en détail sur le projet de 2013. Le sujet tel qu'il a été donné aux étudiants lors de la première séance est le suivant :

« L'objectif est de concevoir une flûte mécatronique pour lui faire jouer automatiquement des airs de musiques programmés.

On pourra partir d'une flûte du commerce qu'il conviendra d'instrumenter et de piloter. Mais on pourra également choisir de n'utiliser qu'une partie de flûte existante, ou bien concevoir l'instrument complet.

Le système réalisé doit coupler des aspects mécaniques et électroniques.

Deux partitions sont proposées (« Smoke on the water » de Deep Purple et « Les filles de Redon » de Tri Yann). Le dispositif conçu doit être en mesure de jouer ces deux partitions, avec justesse et en rythme. Bien évidemment, il convient d'envisager dès le début du projet la possibilité de jouer d'autres airs. »

La Figure 3 présente une vision fournie par l'un des groupes d'étudiants à l'issue des trois premières séances. Il s'agit de l'avant-projet. A ce stade du projet, les choix conceptuels sont faits, mais la conception détaillée n'est pas encore réalisée.

Après validation par l'équipe enseignante de cet avant-projet, démarre le deuxième stade du projet (séance 4 à 11) qui concerne la conception détaillée et la réalisation. Les étudiants travaillent donc sur les différents aspects du produit :

- **Pneumatique**, avec la définition du circuit, le dimensionnement des composants, les commandes (avec le respect d'un budget initialement fixé) lorsque le choix des composants est validé par l'équipe enseignante (Figure 4) ;
- **Mécanique**, avec la modélisation 3D de l'ensemble du produit et en définissant les pièces à réaliser (Figure 5) ;

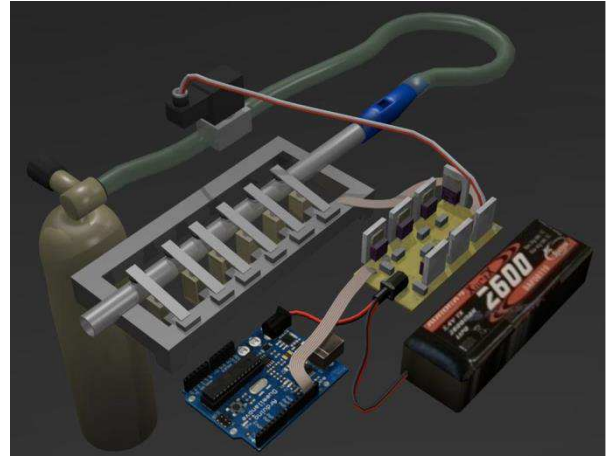


Figure 3: Concept de la flûte mécatronique

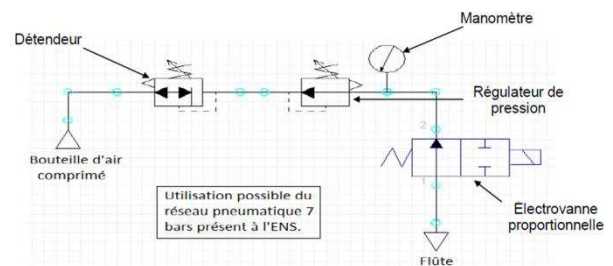


Figure 4 : Schéma pneumatique

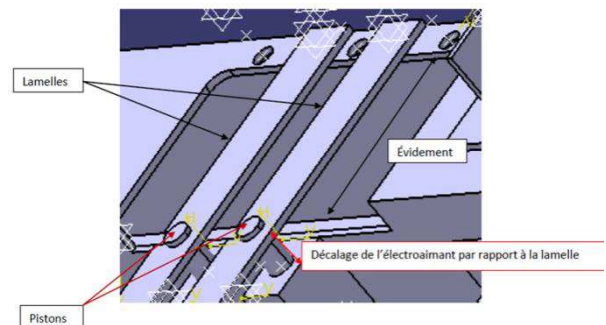


Figure 5 : Détails de la modélisation 3D du système complet

- **Commande et puissance**, avec l'utilisation d'un microcontrôleur Arduino (Figure 6) qu'il a fallu programmer (Figure 7), ainsi que la définition et réalisation des cartes de commande du circuit de puissance (Figure 8) pour alimenter les différents actionneurs (électroaimants).

Il est très important que l'ensemble de ces éléments soit conçu de manière collaborative et simultanée car chacune des parties impacte directement les autres. Là encore, il est primordial que l'équipe enseignante trouve sa place entre le soutien technique, l'autonomie laissée au groupe pour qu'il augmente collectivement ses connaissances et compétences disciplinaires et en gestion de projet, et le respect des délais.

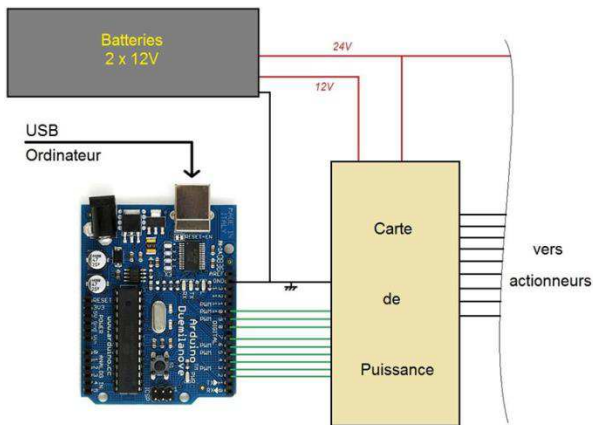


Figure 6 : Schéma global de la partie commande

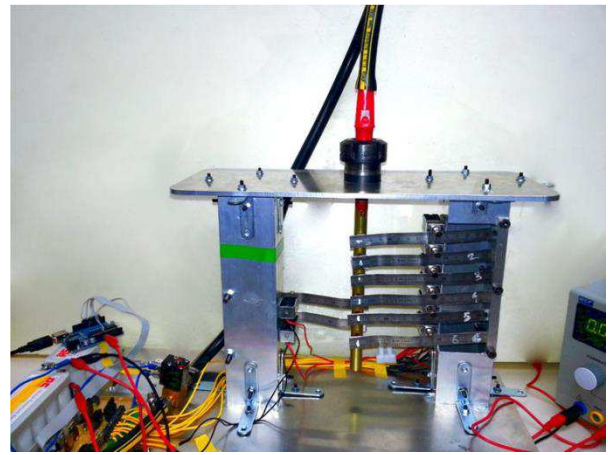


Figure 9 : Système final opérationnel

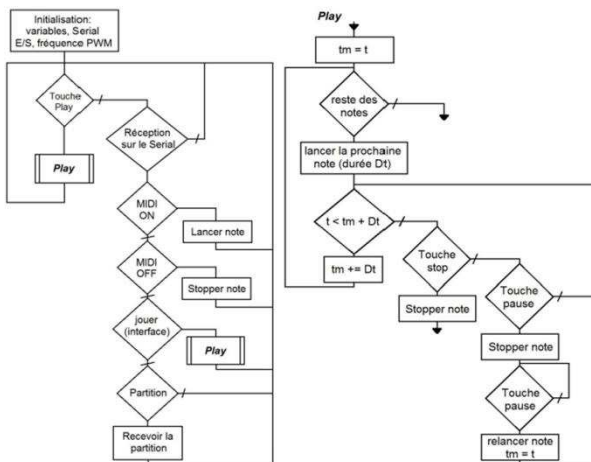


Figure 7 : Organigramme du programme Arduino

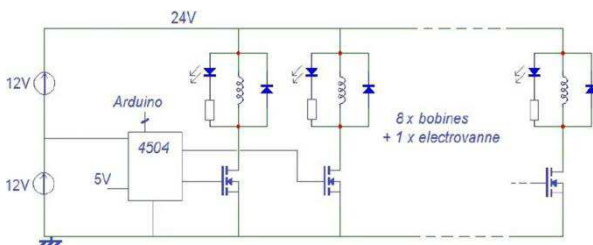


Figure 8 : Schéma de la carte électronique

La Figure 9 présente le produit final auquel le groupe est arrivé. On peut voir que les choix faits lors de l'avant-projet n'ont pas été remis en cause, que le système reste à l'état de prototype. Le système est opérationnel et sera prochainement utilisé pour des activités pédagogiques sur l'analyse de systèmes au sein du département mécatronique de l'ENS Rennes.

## 8. Conclusion

De l'expérience menée au sein de l'ENS de Rennes, on peut tirer un certain nombre d'enseignements quant aux points essentiels au bon déroulement d'un enseignement par projet. Cette expérience a été menée sur trois promotions d'étudiants et les conclusions à en tirer sont souvent les mêmes.

L'enseignement en projet doit se faire au travers d'un support qui intéressera et motivera les étudiants. Un des points clés est par ailleurs de trouver le bon compromis dans l'encadrement pour que les étudiants ne se sentent pas bridés dans leur créativité tout en pouvant compter sur des enseignants suffisamment impliqués dans le projet pour pouvoir les soutenir en cas de besoin. Voire anticiper les problèmes.

Une telle expérience est très enrichissante tant pour les étudiants que pour les enseignants.

Pour les étudiants c'est une occasion irremplaçable de se retrouver en situation de responsabilité face aux problèmes concrets que soulève la réalisation d'un système réel. Cela inclut notamment ceux de la planification des tâches en prenant en compte les délais de commande et de livraisons des composants nécessaires, ceux de fabrication des pièces conçues.

Pour les enseignants c'est une façon motivante mais risquée de transmettre le savoir. Risquée parce qu'il n'y a pas de corrigé type au problème qu'ils ont posé. S'ils ne trouvent pas rapidement les raisons pourquoi tel ou tel élément du système conçu par les étudiants ne fonctionne pas, c'est leur crédibilité qui peut être remise en cause. Risquée donc, mais également extrêmement motivante tant il est évident que cette manière d'enseigner apporte beaucoup plus aux étudiants que le classique triptyque cours-TD-TP.

## 9. Remerciements

Ces projets ne pouvant évidemment pas se faire sans l'implication et la motivation des étudiants, les auteurs tiennent à remercier :

- Olivier Arguence, Amaury Dalla Monta, Valentin De Montis, Melaine Desvaux, Sylvain Devie, Lucas Joseph, Sophie Lion, Benjamin Lollivier, Joseph Paux, Alexandre Perraud, Ambroise Petit, Vincent Quérard, Jérôme Quesne, Pierre Violet, Mazyar Yosofi ;
- Kévin Audoux, Olivier Bordron, Rémi Bourbon, Quentin Delamare, Hui Li, Antoine Martin, David Roszczypala, Simon Rouland, ;
- Thomas Baroche, Ferreol Binot, Guillaume Cathelain, Robin Darleux, Matthieu Furet., Simon Hilt, Edwin



Kerouanton, Simon Kirchhofer, Matthieu Laisné et Marie Vandenbempt.

## Références

- [1] <http://www.mecatronique.ens-rennes.fr/version-francaise/formation/magistere-mecatronique/>
- [2] <http://eduscol.education.fr/cid56758/ressources-technologiques-sti2d.html>
- [3] C. Vloebergh, D. Grenier, P. Fisette, C. Eugène, J.-D. Legat, "Intégration d'une compétition de robotique au sein d'un cursus de formation en mécatronique" *J3eA 5 HORS SÉRIE 2*, (2006) DOI: 10.1051/j3ea:2006049
- [4] <http://www.e-kart.fr/>
- [5] <http://www.educeco.net/>
- [6] Saaty, T.L. (2008) 'Decision making with the analytic hierarchy process', *Int. J. Services Sciences*, Vol. 1, No. 1, pp.83–98.
- [7] <http://www.popsi.com/technology/article/2010-10/coffee-filled-balloon-makes-best-robotic-gripper>