



Enjoyeering Senior: Un projet de conception et développement de produits innovants pour les élèves-ingénieurs

Jihane Kojmane, Ahmed Aboutajeddine

► To cite this version:

Jihane Kojmane, Ahmed Aboutajeddine. Enjoyeering Senior: Un projet de conception et développement de produits innovants pour les élèves-ingénieurs. Xème Conférence Internationale : Conception et Production Intégrées, Dec 2015, Tanger, Maroc. <hal-01260774>

HAL Id: hal-01260774

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01260774>

Submitted on 22 Jan 2016

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.

Enjoyeering Senior: Un projet de conception et développement de produits innovants pour les élèves-ingénieurs

Jihane Kojmane, Ahmed Aboutajeddine
Laboratoire de Génie Mécanique
Faculté des Sciences et Techniques
Fès, Maroc
Jihane.Kojmane@usmba.ac.ma
Ahmed.Aboutajeddine@usmba.ac.ma

Abstract— Concevoir et développer des produits est une compétence fondamentale en ingénierie. Une conception satisfaisante implique la maîtrise et la bonne utilisation du processus de conception. De ce fait, les industries sont de plus en plus soucieuses de la qualité du processus de conception qu'elles utilisent, et sont de plus en plus exigeantes en ce qui concerne les compétences de leurs ingénieurs en matière de développement de produits. Afin de former des ingénieurs capables de résoudre des problèmes et développer des produits innovants, il est donc nécessaire de prévoir des pratiques au niveau des curriculums d'apprentissage.

Dans cet article, nous présentons un projet majeur de conception intitulé *Enjoyeering Senior*, développé et implémenté au sein du département de Génie Mécanique de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, et qui vise à introduire les élèves ingénieurs aux pratiques de conception et développement de produits. Les étudiants sont tenus de concevoir et réaliser des produits basés essentiellement sur des kits robotiques et du matériel ouvert, et destinés à répondre à un besoin réel. Le projet est, par conséquent, un projet multidisciplinaire, où les étudiants doivent utiliser des méthodes de conception de produits telles que l'analyse fonctionnelle, le déploiement de la fonction qualité, l'analyse morphologique, la matrice de Pugh, etc.), ainsi que des méthodes de créativité pour générer des solutions. Les étudiants auront aussi à réaliser un prototype virtuel de leur produit, et l'analyser pour voir comment il évolue dans un environnement spécifique. Ensuite, ils devront utiliser des outils de programmation pour rendre leurs réalisations vivantes. Ce projet peut aussi être considéré comme une approche pour l'apprentissage de la programmation, les sciences de l'ingénieur, et surtout les méthodologies de conception et développement de produits. En outre, le projet motive les étudiants dans la mesure où il leur permet de travailler comme de vrais ingénieurs, améliorer leurs capacités à résoudre les problèmes d'ingénierie et travailler collaborativement.

Keywords—conception; développement de produits; ingénierie; élèves-ingénieurs; robotique.

I. INTRODUCTION

Dans un marché mondial où la technologie gouverne

Xème Conférence Internationale : Conception et Production Intégrées, CPI 2015, 2-4 Décembre 2015, Tanger - Maroc.

Xth International Conference on Integrated Design and Production, CPI 2015, December 2-4, 2015, Tangier - Morocco.

aujourd'hui, l'introduction de nouveaux produits devient une nécessité vitale. Le monde du 21ème siècle est envahi par une vague de mondialisation et les besoins de l'industrie augmentent de plus en plus [1]. Par conséquent, tous les pays, les communautés, les individus, les gouvernements et les sociétés sont obligés de s'adapter aux défis que ce monde présente. Et dans ce monde gouverné par la mondialisation, la survie des entreprises est étroitement dépendante du développement de nouveaux produits innovants et la proposition de nouvelles solutions [2].

Pour cette raison, l'ingénierie de l'avenir doit changer afin de contribuer aux opportunités et défis mondiaux, et doit fournir une main-d'œuvre capable de faire face aux nouvelles conditions du marché de travail. Les ingénieurs sont généralement connus pour leur capacité à résoudre les problèmes, et sont donc les mieux placés aujourd'hui pour devenir de bons designers capables de développer de nouveaux produits innovants [1]. En outre, les employeurs d'aujourd'hui sont devenus de plus en plus exigeants en ce qui concerne les compétences de leurs ingénieurs embauchés, et il ya une demande pressante pour adapter la formation des ingénieurs aux nouvelles exigences. La meilleure façon de résoudre cette question est en concevant de nouvelles pratiques pédagogiques qui préparent les étudiants à leur rôle d'ingénieurs compétents.

Dans ce contexte, un projet intitulé *Enjoyeering Senior* est conçu autour d'activités qui visent à donner aux élèves-ingénieurs l'occasion de mettre en pratique leurs connaissances en ingénierie et d'acquérir une expérience pratique de l'utilisation systématique des méthodologies de conception et développement de produits, grâce à la conception de produits basés sur des kits robotiques et du matériel ouvert. En revanche, le projet vise à améliorer d'autres compétences douces des étudiants telles que la capacité à gérer l'incertitude et travailler collaborativement. Ce projet complète de nombreux travaux antérieurs, soulignant uniquement l'aspect technique d'applications robotiques [3] - [4], pour s'étendre à des projets plus réalistes, comprenant une méthodologie de conception mécanique et une proposition de valeur pour un client.

Le papier est organisé comme suit. La section 2 explique le cadre du projet proposé. La section 3 donne un aperçu du contenu du projet, ainsi que les formations données aux étudiants. La section 4 présente les résultats majeurs du projet. Des conclusions sont enfin proposées dans la section 5.

II. CADRE DU PROJET

Enjoyeering Senior fait partie d'un grand projet nommé *Enjoyeering*, pour « *Enjoy Engineering* », littéralement « *Apprécier l'ingénierie* ». Ce projet découle d'une thématique de recherche qui vise à développer la compétence d'innovation chez les étudiants ingénieurs à travers des projets de développement de produits. Il s'agit d'un projet d'acquisition de compétences clés en ingénierie, constitué de trois activités pratiques couvrant tout le curriculum d'ingénierie, et qui sont actuellement implémentées à la FST de Fès. Précédé par deux activités assignées à des stades précoces du curriculum d'ingénierie, *Enjoyeering Senior* est un projet majeur de conception qui va couronner ces activités, en conduisant les **élèves-ingénieurs en mécanique** à travers le développement d'un produit innovant qui répond à un besoin validé d'un client potentiel.

Le projet *Enjoyeering Senior* est mené en parallèle avec un cours sur les méthodologies de conception et d'innovation. Le cours vise à donner aux étudiants un aperçu de l'approche systématique dans la conception de nouveaux produits innovants, et de leur enseigner les outils et les méthodes dont ils auront besoin dans le processus de conception.

Le projet proposé a pour but de compléter le cours et atteindre ces objectifs pratiquement. Comportant des activités qui dotent les étudiants d'une expérience pratique en méthodologies de conception, le projet peut être considéré comme un projet multidisciplinaire avec 3 objectifs principaux (Fig.1) à savoir une connaissance en conception de produits, une expérience pratique en ingénierie, et des compétences douces.

Dans ce projet, les étudiants sont tenus de concevoir et réaliser des produits basés essentiellement sur des kits robotiques et du matériel ouvert, et destinés à répondre à un besoin réel. Le projet est, par conséquent, un projet multidisciplinaire, où les étudiants doivent utiliser des méthodes de conception de produits telles que l'analyse fonctionnelle, le déploiement de la fonction qualité, l'analyse morphologique, la matrice de Pugh, etc., ainsi que des méthodes de créativité pour générer des solutions. Les étudiants auront aussi à réaliser un prototype virtuel de leur

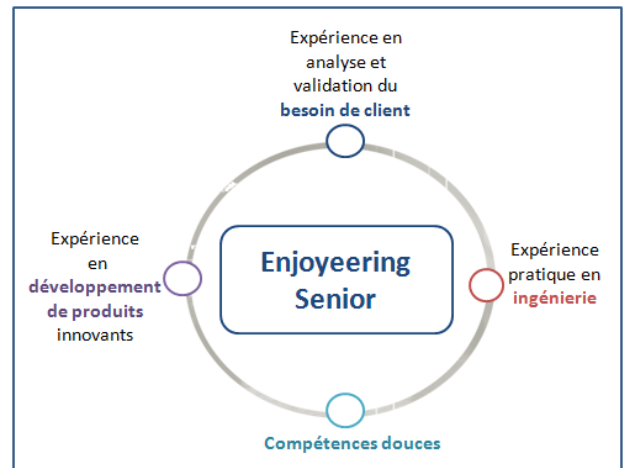


Fig.1 Objectifs clés du projet *Enjoyeering Senior*

produit, et l'analyser pour voir comment il évolue dans un environnement spécifique. Ensuite, ils devront utiliser des outils de programmation pour rendre leurs réalisations vivantes. Ce projet peut aussi être considéré comme une approche pour l'apprentissage de la programmation, les sciences de l'ingénieur, et surtout les méthodologies de conception et développement de produits. En outre, le projet motive les étudiants dans la mesure où il leur permet de travailler comme de vrais ingénieurs, améliorer leurs capacités à résoudre les problèmes d'ingénierie et travailler collaborativement.

III. ENJOYEERING SENIOR

A. Contenu du projet

Il a été estimé que 85% des échecs de nouveaux produits est le résultat d'un pauvre processus de conception [5]. C'est pourquoi ces 30 dernières années, la plupart des industries ont utilisé l'approche de l'ingénierie concurrente. Cette approche utilise un processus de conception générique qui est généralement représenté par 5 phases comme la planification, la conception, le développement et enfin la production, afin de transformer la voix du client en des biens et des services viables. Cependant, pour des raisons d'efficacité et de gestion de temps, il n'est pas souhaitable d'être assujéti à la linéarité du processus soulignée dans la Fig.2. En effet, il est devenu plus raisonnable d'appliquer le principe du prototypage. Le concept du prototypage est défini par le fait de tester l'attrait et l'usage réel d'un nouveau produit en simulant son "expérience vitale" avec un strict minimum investissement en temps et en argent [6]. Explicitement, il s'agit de réaliser rapidement et à moindre coût une version simplifiée d'un nouveau produit.

Dans le contexte du projet *Enjoyeering Senior*, les élèves-ingénieurs ont l'opportunité d'appliquer le processus professionnel de conception de produits, durant la réalisation de leurs projets en suivant des directives bien précises. Ces directives reposent sur un processus de conception personnalisé qui intègre à la fois le processus souligné dans la Fig.2, ainsi que le principe du prototypage (Fig.3)

Ce processus personnalisé commence par la découverte du produit et la planification de sa réalisation. Dans cette phase, les étudiants doivent choisir un besoin réel, soit en identifiant

eux-mêmes une opportunité, ou en choisissant un besoin industriel parmi ceux proposés dans le cours. Ils sont aussi tenus de réaliser un planning pour leur projet, par l'utilisation du diagramme de Gantt ou autre. Les étudiants commencent par lister les exigences du client les plus importantes, et les pondérer par ordre d'importance. Par la suite, la matrice QFD (Déploiement de la fonction qualité) est utilisée pour déterminer les spécifications techniques du produit, et décider lesquelles répondent amplement à la voix du client. Cette méthode a été développée au Japon en 1970 et a été largement utilisée par différentes compagnies à travers le monde, et particulièrement aux Etats-Unis.

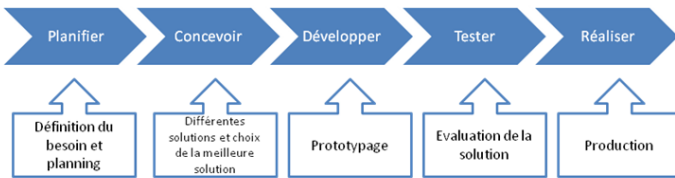


Fig.2 Processus de développement de produits

Une fois terminée cette phase, les étudiants peuvent déjà commencer s'ils le souhaitent à tester une ou plusieurs solutions dans des versions très simplifiées. Autrement, ils peuvent travailler sur la phase de conception où ils doivent générer et évaluer des concepts de solutions innovantes. Pour cela, ils peuvent utiliser l'analyse morphologique pour la génération d'un certain nombre de solutions faisables. En effet, l'analyse morphologique est une méthode qui permet de visualiser tous les concepts liés à une fonction et par la suite visualiser toutes les combinaisons possibles entre les concepts pour créer des concepts globaux. Une fois les concepts générés, les étudiants font appel à la matrice de PUGH qui est une méthode développée par Stuart Pugh au sein de Total Design, et qui est une méthode matricielle qui permet de diminuer le nombre de concepts et d'améliorer systématiquement les concepts étudiés. Avec cette méthode, les étudiants vont évaluer les différentes alternatives, et vont à la fin converger vers une seule solution. Un va et vient conception-prétypage ou prétypage-conception est souhaitable et est généralement remarqué chez la plupart des étudiants.

La phase de réalisation de produits est la phase où les étudiants peuvent enfin travailler pratiquement sur leur solution. Le prototypage et les outils d'analyse mécanique sont utilisés par les étudiants pour simuler leurs systèmes robotiques et voir comment ils évoluent dans un environnement spécifique. Quand le prototype physique est finalement construit, des outils de programmation sont utilisés afin de contrôler les systèmes et leur de permettre d'accomplir les tâches souhaitées. Si les étudiants désirent effectuer des changements au niveau d'une phase quelconque, ils peuvent itérer le processus autant de fois qu'ils le souhaitent.

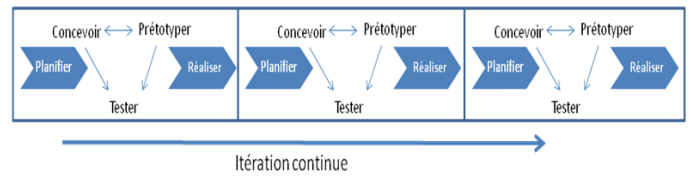


Fig.3 Processus personnalisé de développement de produits utilisé dans le projet *Enjoyeering Senior*

B. Formations

1) Business model generation :

Le produit final de chaque projet de développement est un prototype fonctionnel qui répond aux besoins des clients. En fait, le développement de produit n'est pas uniquement relié au processus de conception, mais c'est aussi une affaire de marketing [7], et les étudiants doivent comprendre qu'ils doivent commercialiser leur produit à la fin. Pour cette raison, une formation préliminaire sur le Business Model Generation [8] est donnée aux étudiants au début du projet, pour leur présenter le Business Model Canvas [9]. Le Business Model Canvas est un outil entrepreneurial de gestion stratégique, constitué d'un tableau visuel avec des éléments qui décrivent le produit, sa valeur proposée, ses clients, ses revenus, son infrastructure, ainsi que les fonds nécessaires. Les étudiants sont invités à itérer autant de fois que nécessaire leurs canevas afin de clarifier les besoins du client et proposer de la valeur et des solutions innovantes.

2) Lego Mindstorms :

Approximativement 4 heures de formation sont allouées au kit Lego Mindstorms. 2 heures sont suffisantes pour introduire les étudiants à la partie hardware, parce que la plupart des étudiants sont familiers avec les legos depuis leur enfance, et 2 heures sont dédiées à l'introduction au NXT-G qui est un environnement de programmation graphique conçu par NI Labview, et qui est fourni avec le kit du Lego Mindstorms. Les étudiants utilisent des blocs graphiques pour écrire des programmes et sont immédiatement séduits par sa facilité d'utilisation. Par la suite, ils peuvent raffiner leurs programmes en programmant la brique NXT soit avec le langage Labview [10], le langage C ou C++ [3], Java [11], ou encore le logiciel Matlab [12].

Le choix de Lego Mindstorms est justifié par deux raisons.

La 1ère raison est principalement reliée à son coût réduit. En effet, notre faculté a des ressources financières limitées, et ne peut pas se permettre de se procurer du matériel coûteux. La 2ème raison est que le Lego Mindstorms s'avère être une excellente plateforme pour les projets. En effet, en plus des occasions pluridisciplinaires qu'offre le LEGO MINDSTORMS dans la science, la technologie, l'ingénierie et les maths, il permet une grande liberté de créativité et de conception et se définit comme une opportunité pour les étudiants d'explorer et porter un intérêt au monde d'ingénierie. Il est de plus en plus utilisé dans l'enseignement des sciences et technologies, ainsi que dans des compétitions estudiantines [13]-[14]. En outre, de nombreux travaux ont montré que le kit

LEGO Mindstorms est un outil de choix pour l'amélioration de la pensée critique et le développement des compétences de résolution de problèmes [15]. Il donne également, la possibilité aux étudiants d'apprendre et de pratiquer beaucoup de cours et des concepts d'ingénierie.

Le kit du NXT (Fig.4) contient tout ce qui est nécessaire pour la réalisation des applications robotiques : la brique NXT qui est le cerveau même du robot Mindstorms qui lui permet d'effectuer différentes opérations, 3 servomoteurs qui permettent au robot la mobilité, un capteur de couleur qui permet au robot de distinguer entre les couleurs, un capteur ultrasonique pour permettre au robot de détecter les objets, 2 capteurs tactiles pour permettre au robot de ressentir les choses, un capteur de luminosité pour mesurer l'intensité de lumière, et finalement un capteur de son qui permet au robot de détecter des sons. D'autres pièces sont incluses dans le kit (une centaine de briques LEGO, des pignons, des roues et des axes).

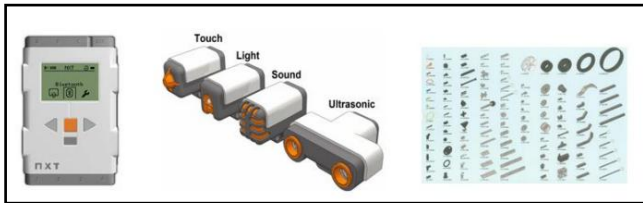


Fig.4 La brique NXT, les capteurs et les composants mécaniques

3) Prototypage virtuel :

De nos jours, chaque processus de développement de produits en ingénierie utilise des outils de conception assistée par ordinateur. Ils permettent à l'ingénieur de créer virtuellement et analyser interactivement le produit mécanique dans son environnement d'exploitation, sans l'utilisation nécessaire des prototypes physiques.

Par conséquent, ça devient une nécessité pour les étudiants en ingénierie de maîtriser les outils de conception assistée par ordinateur. Le logiciel de conception assistée par ordinateur le plus utilisé en éducation et en industrie est Catia de Dassault Systems. Le logiciel est adopté ici pour le prototypage virtuel et l'analyse dynamique des applications robotiques des étudiants. Ce choix a deux avantages. En premier, c'est une approche pour l'apprentissage de Catia/Solidworks, par l'utilisation des blocs du kit robotique qui existent dans le catalogue 3D LEGO Catalog. De cette façon, les étudiants apprendront l'utilisation de Catia/Solidworks dans un environnement créatif et amusant. D'un autre côté, le modèle du robot Mindstorms conçu sous Catia/Solidworks est plus qu'une simple animation géométrique en temps réel ; il reproduit le comportement réel du robot, et donne une idée sur les paramètres réels relatifs aux moteurs et capteurs.

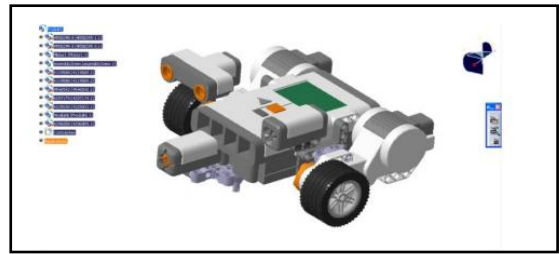


Fig.5 Prototype virtuel du Lego Mindstorms sur Catia V5

4) Contrôle et simulation :

4 heures de formations en Matlab et Simulink sont données aux étudiants.

L'idée d'utiliser Matlab dans ce projet pour programmer les applications robotiques a été conduite par deux raisons. La première, est que Matlab a été assez populaire ces dernières années dans le domaine d'ingénierie, et a été adopté par plusieurs écoles d'ingénierie pour sa capacité à résoudre de vrais problèmes dans un environnement à la fois rigoureux et allégé. La deuxième raison qui nous a poussés à utiliser Matlab dans ce projet est une toolbox qui a été développée à la Faculté de Génie Électrique à l'université RWTH Aachen [13]. Cette toolbox peut être intégrée dans Matlab, et permet la lecture des différents capteurs du robot Mindstorms, et permet de même de contrôler tous ses moteurs via une connexion Bluetooth ou via un câble USB.

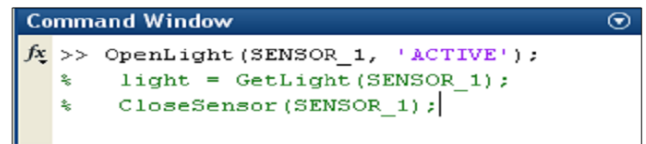


Fig.6 : Exemple de code sur Matlab pour la lecture d'un capteur de luminosité

En utilisant cette toolbox, les étudiants peuvent développer un programme pour contrôler en temps réel leurs applications robotiques d'une façon interactive, et par conséquent, visualiser et analyser les données relatives aux moteurs et capteurs. De même avec Simulink, les étudiants peuvent appliquer les techniques du Model-Based Design pour vérifier leurs algorithmes pendant la simulation.

5) Plateforme électronique Arduino :

4 heures de formation sont suffisantes pour introduire les étudiants à la plateforme électronique Arduino.

Arduino est une plateforme électronique ouverte et non coûteuse basée sur un microcontrôleur. Arduino a inspiré beaucoup de fans à travers le monde, par sa capacité à développer des objets interactifs qui peuvent recevoir comme entrées une grande variété d'interrupteurs, de capteurs,...et peuvent contrôler une grande variété de lumières, de moteurs ou autres sorties. Arduino peut être utilisé dans la réalisation d'un simple circuit pour allumer une lampe, ou un robot très

complexe. Ca fait d'Arduino un excellent environnement pour introduire les étudiants à la conception de matériel hardware, et améliorer leurs compétences en programmation [16]. Dans le contexte de ce projet, Arduino peut être avec différents capteurs et actionneurs dans le contrôle d'une partie de l'application robotique des étudiants, ainsi que dans l'acquisition des données et la visualisation des résultats.

IV. EXEMPLES DE PROJETS

Les étudiants ont été divisés en 6 équipes, et ont travaillé sur la conception d'équipements éducatifs dédiés aux établissements universitaires.

On présente ci-dessous des exemples de projets :

- Prototype de robot pour l'analyse de sang combiné à une centrifugeuse, dédié pour les expériences en laboratoires de biologie.
- Machine CNC pour illustrer les opérations de tournage et fraisage
- Prototype d'un banc de fatigue pour illustrer l'essai de fatigue, dédié pour les élèves-ingénieurs en mécanique.

Les équipes d'étudiants ont commencé par la mise en place de business modèle où ils décrivent la valeur proposée du produit, les clients, les revenus, les coûts et le financement nécessaire. Par la suite, ils ont effectué une analyse de l'existant afin de comparer ce qui existe avec ce que le client veut réellement, et ont utilisé le diagramme FAST pour lister les fonctions du produit.

Après l'identification des différentes fonctions du produit, les étudiants sont passés à la traduction de ces fonctions en spécifications techniques. Ce sont des paramètres utilisés pour juger la façon dont une fonction est exécutée. Pour trouver ces spécifications, les étudiants ont commencé par un brainstorming en posant la question suivante: «Comment puis-je être sûr que cette fonction est entièrement réalisée ?" Par la suite, les étudiants ont relevé les corrélations qui existent entre les fonctions et les spécifications techniques en se basant sur la matrice QFD.

L'analyse morphologique et la matrice Pugh ont été ensuite utilisées par les étudiants pour générer des concepts et évaluer les solutions proposées, et des croquis de concepts proposés ont été dessinés (Fig.7).

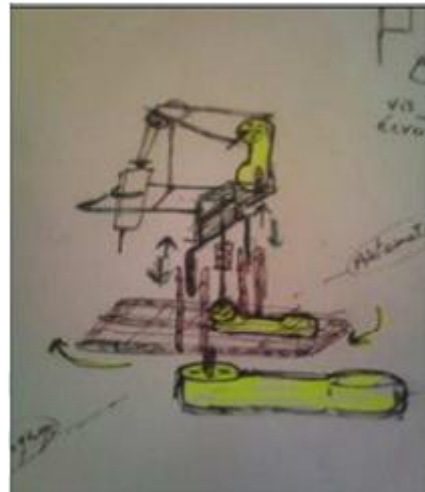


Fig.7 : Dessin d'un concept

Pour prototyper numériquement leur concept choisi, les étudiants ont opté pour le logiciel de dessin Solidworks (Fig.8).



Fig.8 : Prototypes numériques de concepts choisis

Finalement, et en se basant sur leur prototype numérique, les étudiants ont arrangé leur prototype physique en utilisant le kit Lego Mindstorms et l'ont programmé sur Matlab pour lui permettre d'effectuer les tâches requises (Fig.9).



Fig.9 : Prototypes réels des équipes d'étudiants

V. EVALUATION DES ETUDIANTS ET RESULTATS

Après le projet, 30 étudiants ont participé à une évaluation anonyme. Des questionnaires ont été utilisés avant et après le projet pour évaluer le niveau des étudiants en conception assistée par ordinateur et en programmation. Nous avons constaté que le pourcentage des étudiants qui ont noté leur niveau en CAD et programmation comme « Bon » a augmenté de presque 20% après le projet (Fig.10). Le questionnaire a été répété après quelques mois, et les résultats sont restés les mêmes.

D'un autre côté, le niveau d'assimilation du processus de conception et développement de produits a été noté comme « Bon » par la majorité des étudiants. De plus, presque tous les étudiants ont montré leur intérêt pour travailler encore sur le projet, et ont exprimé leur motivation pour raffiner leurs systèmes dans les mois suivants.

La question « Identifier les difficultés rencontrées durant le projet » a produit des réponses comme un manque de temps, une difficulté à trouver un réel besoin, et une difficulté à travailler collaborativement.

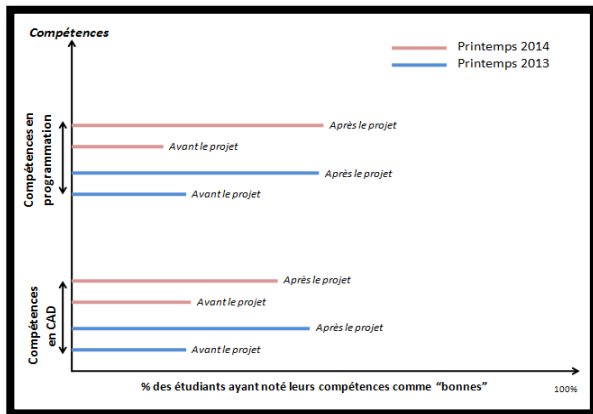


Fig.10 : Evaluation des étudiants avant et après le projet

VI. CONCLUSION

Ce travail a été consacré à la conception et l'implémentation d'un projet intitulé *Enjoyeering Senior* qui aspire à créer un environnement pratique pour les étudiants en ingénierie. Ce projet permet aux étudiants de développer leurs compétences pratiques en ingénierie, et acquérir de la connaissance en méthodologies de conception, par l'application et la mise en pratique d'un processus rigoureux de développement de produits, et qui reproduit des situations réelles d'un problème d'ingénierie. Le projet suit un processus de développement de produits qui part d'un besoin de client, et se termine par la réalisation d'un produit, et qui englobe des méthodologies de créativité, de résolution de problèmes, d'analyse d'ingénierie, de conception, de prototypage virtuel par Catia ou Solidworks, de l'analyse des structures et la programmation par Matlab. Le projet peut être incorporé comme un projet à part entière dans les curriculums d'ingénierie, ou peut être conduit simultanément avec un cours de méthodologies de conception.

Le projet permet aussi de développer la motivation des étudiants, et leur permet d'acquérir des compétences douces comme la résolution créative de problèmes, le travail collaboratif, et la bonne communication. Finalement, le coût du matériel utilisé pour ces projets est très raisonnable et est à la portée de la majorité des universités, même celles qui ont des ressources financières limitées.

Comme perspectives, et afin d'améliorer ce projet, des travaux de recherche sont en cours afin d'élaborer un cadre de compétences en ingénierie mécanique, et déterminer des mesures de compétences à la fois techniques et douces. Pour ce qui est de l'aspect matériel du projet, l'opportunité d'utiliser une CNC et un scanner 3D pour créer des composantes mécaniques, ainsi que l'utilisation de logiciels open, est tenue en compte.

References

- [1] R.Yelkur,P. Herbig , "Global markets and the new product development process", Journal of Product & Brand Management, Vol. 5 Iss: 6, pp.38 – 47, 1996.
- [2] J.Dunderstadt, "Engineering for a Changing World: A Roadmap to the Future of Engineering Practice, Research, and education," University of Michigan, <http://mi1proj.dc.umich.edu/>, accessed 10/10/2014.
- [3] L.E.Whitman , Whitterspoon T.L., "Using Legos to interest High School Students and improve K12 STEM Education", Frontiers in Education, FIE 33rd Annual, Vol.2, 2003, pp. F3A_6 - F3A_10.
- [4] F.Michaud, "Engineering Education and the Design of Intelligent Mobile Robots for Real Use" , International Journal of Intelligent Automation and Soft Computing, Vol. 13, Issue 1, pp. 19-27, 2007
- [5] D.G.Ullman, The mechanical design process, McGraw-Hill International Edition, pp. 2-3, 2010.
- [6] <http://www.pretotyping.fr>
- [7] K.T.Ulrich, Eppinger S. D., Product Design and Development, McGraw-Hill International Edition, pp. 9-15, 2008.
- [8] Business Model Generation, <http://www.businessmodelgeneration.com>.
- [9] Business Model Canvas, <http://www.businessmodelalchemist.com/tools>.
- [10] J.M.Gómez-de-Gabriel, A.Mandow, J.Fernández-Lozano,A.J.García-Cerezo, "Using LEGO NXT Mobile Robots With LabVIEW for Undergraduate Courses on Mechatronics," IEEE Transactions on Education, Vol.54, No.1, pp.41-47, Feb. 2011.
- [11] D.J.Barnes," Teaching Introductory Java through LEGO MINDSTORMS Models", Proceedings of the 33rd SIGCSE technical symposium on Computer Science Education, February 27- March 3, 2002, Covington, Kentucky, USA, pp. 147-151.
- [12] A.Behrens, L.Atorf, R.Shwann, J.Ballé, T.Herold and A.Telle, "First Steps into Practical Engineering for Freshman Students Using Matlab and LEGO Mindstorms", ActaPolytechnica Journal of Advances Engineering, Vol 48, No.3, pp.44-49, 2008.
- [13] E.Wang , J.LaCombe and C. Rogers , "Using LEGO Bricks to Conduct Engineering Experiments," Proceedings of the ASEE, Annual Conference and Exposition, session 2756, Salt Lake City, UT, USA ,2004.
- [14] J.V.Ringwood , K.Monaghan and J.Maloco, "Teaching engineering design through Lego Mindstorms", European Journal of Engineering Education, Vol. 30, No. 1, pp. 91–104 ,March 2005.
- [15] B.Ricca, E.Lulis and D.Bade," Lego Mindstorms and the Growth of Critical Thinking", In: Intelligent Tutoring Systems Workshop on Teaching with Robots, Agents, and NLP, 2006
- [16] M.A.Rubio, C.M.Hierro, A.P.M.Pablo," Using Arduino to enhance Computer Programming courses in Science and Engineering", Proceedings of EDULEARN13 Conference, ISBN 978-84-616-3822-2, 1st-3rd July 2013, Barcelona, Spain.