

Evaluation du processus d'innovation dans les projets du génie mécanique

[Assessing the innovation process in mechanical engineering projects]

Imane ZERGOUT¹, Souad AJANA¹, Zineb AIT HADDOUCHANE¹, and Soumia BAKKALI²

¹Département Génie Mécanique,
Université Hassan II / ENSEM,
Casablanca, Maroc

²Département Génie Electrique,
Université Hassan II / ENSEM,
Casablanca, Maroc

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Innovation is considered as a parameter which reflect the level of development in emerging countries that have oriented their economies towards knowledge and innovation. Indeed, the international indexes used to classify countries according to the level of innovation are based on several technological, scientific and socio-economic elements. At the national level, it is important to measure innovation in all technical and scientific activities, particularly in engineering, whose main function is to propose creative and innovative solutions to complex technical situations. This importance consists in determining the level of performance in this field to be able to develop and stand out from competitors.

This article is in line with this perspective, its objective is to evaluate innovation in mechanical engineering projects and to identify the parameters which characterize their implementation process. This work is a quantitative study based on an assessment grid composed of criteria defined from the literature review. This system is applied within the framework of an empirical study conducted on a sample of mechanical engineering projects carried out within companies belonging to different sectors in collaboration with a Moroccan engineering school. The results of this study are analysed statistically in order to verify whether mechanical engineering projects are innovative and follow a standard innovation process, and to determine the parameters that influence this process.

KEYWORDS: Innovation, creativity, quantitative study, training, engineers, mechanics, Morocco.

RÉSUMÉ: L'innovation est considérée comme un paramètre reflétant le niveau de développement des pays émergents qui ont orienté leur économie vers la connaissance et l'innovation. En effet, les indices internationaux permettant de classer les pays selon le niveau d'innovation prennent en considérations plusieurs éléments technologiques, scientifiques, et socio-économiques. A l'échelle nationale, il est important de mesurer l'innovation dans toute activité technique et scientifique, notamment dans l'ingénierie dont la fonction principale est la proposition de solutions créatives et innovantes pour résoudre des situations techniques complexes. Cette importance réside dans la détermination du niveau de performance dans ce domaine pour pouvoir se développer et se différencier par rapport aux concurrents.

Le présent article s'inscrit dans cette perspective, et il a pour objectif l'évaluation de l'innovation dans des projets appartenant à l'ingénierie mécanique et l'identification des paramètres caractérisant leur processus de réalisation. Ce travail est élaboré sous la forme d'une étude quantitative qui se base sur une grille d'évaluation contenant des critères issus de la littérature. Ce dispositif est appliqué dans le cadre d'une étude empirique menée sur un échantillon de projets du génie mécanique réalisés au sein d'entreprises appartenant à différents secteurs en collaboration avec une école d'ingénieur marocaine. Les résultats

de cette étude sont analysés statistiquement dans le but de vérifier si les projets d'ingénierie mécanique sont innovants et suivent un processus d'innovation standard, et déterminer les paramètres qui influencent ce processus.

MOTS-CLEFS: Innovation, créativité, étude quantitative, formation, ingénieurs, mécanique, Maroc.

1 INTRODUCTION

Face aux défis de la mondialisation, notamment la concurrence accentuée, le progrès technologique et numérique rapide, l'innovation se définit désormais comme une nécessité, et non comme une simple alternative [1]. Elle se considère comme une des forces motrices du développement socio-économique des pays, en particulier pour ceux qui ont une économie émergente tel que le Maroc [2].

La réalisation des grands projets de développement ne peut réussir qu'à travers la contribution d'ingénieurs ayant acquis des compétences hautement qualifiées tel que l'innovation et la créativité grâce à leur formation initiale [3].

Pour que le jeune ingénieur innove, il doit acquérir des compétences techniques et transversales durant la période de sa formation. Pour cette finalité, il doit réaliser des projets individuels et collectifs lui permettant de mettre en œuvre ses habilités en design, conception, management et en résolution de problèmes sous l'encadrement de tuteurs académiques et industriels [4].

Cependant, ces projets ne reflètent pas toujours une grande part d'innovation et de créativité. En effet, les solutions proposées sont souvent sous la forme d'actions d'amélioration classiques et d'applications directes et pragmatiques de notions techniques et scientifiques [5]. Ceci revient à la non-valorisation de l'innovation en ingénierie qui est considérée comme un travail de rigueur qui demande une grande précision et une attention particulière aux détails [6].

Au Maroc, où notre étude est menée, l'innovation a longtemps été négligée par certains professeurs et administrateurs au sein des établissements de la formation des ingénieurs. Ils considèrent l'innovation comme un élément secondaire, la priorité étant pour eux de former des ingénieurs capables de prendre en main l'amélioration du quotidien des marocains (routes, infrastructures, télécommunications,...) [3]. Cette situation réduit l'efficacité du pilotage de l'innovation dans les projets des ingénieurs et des futurs ingénieurs, qui ne respectent pas les méthodologies et les outils du management de l'innovation.

Afin de justifier ces constats, il s'avère nécessaire d'établir une étude ayant pour objectif la quantification de l'innovation dans des projets réalisés dans le domaine de l'ingénierie mécanique. Les résultats de cette quantification permettent d'analyser les étapes du processus de réalisation des projets innovants, et les facteurs qui les caractérisent. Cette étude quantitative vise la réponse à nos questions de recherches suivantes :

- Les projets du génie mécanique sont-ils innovants ?
- Est-ce que les projets du génie mécanique innovants respectent toutes les étapes et les caractéristiques du processus d'innovation ?
- Quels sont les facteurs qui influencent le processus d'innovation dans ces projets ?

Pour atteindre notre objectif, notre étude est structurée comme suit ; nous commençons par exposer l'état de l'art et la méthodologie adoptée. Ensuite nous présentons les étapes de conception du dispositif d'évaluation. Nous enchaînons avec la description du processus de l'étude effectuée, où nous définissons d'abord l'échantillon à étudier, puis nous analysons statistiquement les résultats, et ensuite nous procédons à la discussion de ces résultats en fonction de notre hypothèse de départ. Enfin nous proposons certaines recommandations à mettre en œuvre afin d'améliorer le processus d'innovation dans les projets du génie mécanique.

2 ETAT DE L'ART

2.1 CONCEPT D'INNOVATION

L'innovation est un concept polysémique qui a fait l'objet de plusieurs études depuis les premiers travaux de Schumpeter. La majorité des travaux définissent l'innovation dans le périmètre des entreprises et appartiennent à la discipline du management de l'innovation. Parmi ces travaux on retrouve : [7], [8], [9], [10], [11], [12],...etc.

Il est difficile d'accorder une définition unique et précise pour ce concept, chaque étude perçoit l'innovation d'un angle de vue différent. L'OCDE (l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques) donne une définition générale et

valable pour tous les domaines où apparaît l'innovation. Il définit ce concept dans le manuel d'Oslo comme « l'amélioration ou la mise en œuvre d'un nouveau produit (bien ou service), processus, méthode de commercialisation ou une nouvelle méthode organisationnelle...etc. » [13].

Selon l'afnor, l'innovation est un processus conduisant à l'amélioration ou la création d'un ou de plusieurs produits, procédés, méthodes ou services, susceptibles de répondre à des besoins implicites ou explicites et de générer une valeur économique, environnementale ou sociétale [14].

Morrison et Johnston considèrent l'innovation comme l'aptitude à réaliser une nouvelle idée, objet, produit, processus ou performance en établissant un lien entre une connaissance existante, l'utilisation de l'imagination, l'expérimentation, la prise du risque, le plaisir, et le changement [15].

L'innovation est ainsi le résultat d'un processus complexe et non une transformation spontanée d'une idée [10]. Elle est considérée en même temps, comme un nouveau résultat qui génère une valeur ajoutée et le processus suivi pour parvenir à ce résultat [16], c'est à dire les étapes suivies par la personne innovante pour passer de l'état cognitif à la concrétisation de l'idée [17].

Nous nous sommes référé à ces approches, parce qu'elles étudient les différents aspects sous lesquels l'innovation peut apparaître. En effet, cette réflexion sur l'innovation peut être adoptée non seulement dans le domaine du management des entreprises, mais dans n'importe quel type d'organisme public ou privé, notamment les universités et les écoles d'ingénieurs.

De notre point de vue, le concept d'innovation peut être défini comme un système complexe permettant l'amélioration ou la création d'une nouvelle solution (sous forme d'un produit, service, procédé...), susceptible de générer une valeur économique, environnementale, ou sociétale... en suivant un processus multidisciplinaire mettant en relation différents types de facteurs.

2.2 MESURE DE L'INNOVATION

L'innovation est quantifiée de différentes manières pour répondre à des finalités diverses. A l'échelle internationale, un indice international de l'innovation (Global innovation index (GII)) [18], est mis en place dans le but de classer les pays selon leur niveau d'innovation. Son calcul prend en considération une panoplie de critères et d'indices tel que : le développement socio-économique et environnemental, l'éducation, la recherche et le développement, la production de la technologie et du savoir, l'infrastructure...etc.

Chez les individus, l'évaluation du niveau d'innovation est importante pour distinguer les personnes innovantes et décrire leurs comportements. Ceci permet de comprendre l'aspect social de l'innovation et son apport sur d'autres domaines ; politiques, économiques, technologiques...etc. [19] Bien qu'il soit parfois difficile de quantifier l'innovation et la créativité, parce qu'elles sont conditionnées par des paramètres personnels [20], des travaux dans cette perspective ont déjà été initiés. Nous reportons dans le tableau 1, les démarches suivies par certains auteurs qui ont essayé d'évaluer l'innovation et la créativité chez les ingénieurs et les futurs ingénieurs.

Tableau 1: Quelques travaux dont l'objectif est l'évaluation de l'innovation et de la créativité

Auteurs	Citation de l'article	Démarche suivie	Principaux résultats
P. Livotov ,2015 [21]	“Measuring motivation and innovation skills in advanced course in new product development and inventive problem solving with TRIZ for mechanical engineering students”	Etude quantitative basée sur une formule mathématique et une grille d'évaluation de l'innovation et de la motivation chez des ingénieurs expérimentés et des élèves ingénieurs du génie mécanique.	Evaluation et mesure de la motivation et des compétences liées à l'innovation chez des ingénieurs et des élèves ingénieurs du génie mécanique de l'université Beuth des sciences appliqués à Berlin. Cette étude a pour but la vérification de la pertinence de l'introduction du cours de développement de nouveaux produits et de résolution de problème avec la méthode TRIZ , pour améliorer l'innovation dans la formation en génie mécanique.
I. Badran , 2007[20]	“Enhancing creativity and innovation in engineering education”	Revue de littérature dans le but de concevoir un modèle qui permet de mesurer la créativité et l'innovation en fonction des paramètres personnels et sociaux.	L'introduction d'un diagramme de créativité (Engineering creativity enterprise diagram (ECED)) utilisé en entreprise afin de refléter le niveau d'innovation dans la formation des ingénieurs. Cette étape a permis de concevoir un modèle systémique qui repose sur le développement des cours et des activités susceptibles de promouvoir l'innovation et la créativité des élèves ingénieurs.
C.CHEN, B .C. JIANG et K. HSU ,2005 [22]	“An empirical study of industrial engineering and management curriculum reform in fostering students' creativity”	Etude quantitative se basant sur la version chinoise des tests de l'esprit de créativité de Torrance (TTCT) .L'étude a été menée sur 177 élèves ingénieurs de l'Université Yuan-Ze .	Mesure de la créativité des élèves ingénieurs dans le but d'étudier l'efficacité d'un programme favorisant la créativité dans le cadre de la réforme du curriculum du génie industriel et management (IE&M) dans l'université de Yuan-Ze au Taiwan.

2.3 CRITÈRES D'ÉVALUATION DU PROCESSUS D'INNOVATION

Dans la littérature, ils existent plusieurs critères d'évaluation de l'innovation. Certains critères sont d'ordre commercial, technique, organisationnel et financier [23] [24]

En prenant en compte notre objectif d'étudier le processus d'innovation, nous avons déduit les critères de notre évaluation à partir des travaux ayant défini les caractéristiques du processus de réalisation des projets innovants.

Le processus d'innovation est l'ensemble des étapes qui couvrent toutes les activités scientifiques, techniques, commerciales et financières nécessaires pour aller jusqu'au succès de la commercialisation du produit ou du service. [10]

Plusieurs travaux ont tenté d'établir un modèle succinct du processus d'innovation, notamment [25], [26], [27], [9], [10], [12] ...etc. Nous avons adopté l'approche de Zhang ,2014 [12], parce qu'elle présente le processus d'innovation suivant des étapes généralistes englobant les étapes secondaires définies par les modèles des autres auteurs. Selon cette approche, le processus d'innovation est constitué à partir de deux composantes principales : la créativité et l'implémentation, [12] comme présenté dans la figure 1.

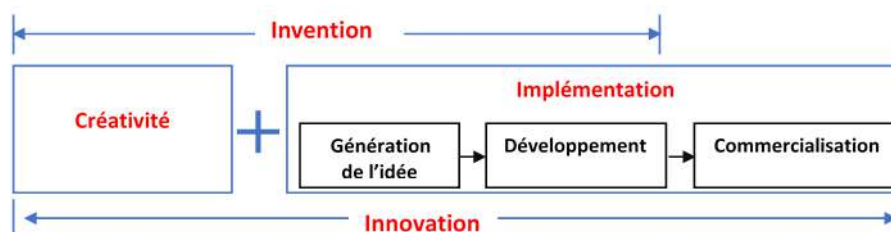


Fig. 1. Les Composantes de l'innovation ([12], p.p 57)

Nous pouvons retenir que l'étude d'un processus d'innovation implique sa fragmentation en plusieurs composantes. Ainsi l'évaluation de notre processus d'innovation, se base sur les deux composantes ; créativité et implémentation.

La créativité se définit comme un processus intellectuel qui vise la génération de plusieurs options chez la personne innovante. C'est la capacité de réaliser une production en se référant à certains critères tel que : l'originalité, l'adaptation à un contexte donné, l'utilité et la création de la valeur [28]. Pour réaliser une production créative, il est nécessaire de suivre une démarche de résolution de problème créative. En amont, elle englobe une étude approfondie du problème, et en aval la transformation des idées en solutions adéquates à la problématique, ainsi que la préparation de leur implémentation [29]. L'étude et la mesure de la créativité reposent donc sur deux volets :

- L'aspect créatif de la solution représenté par : l'originalité de l'idée et son caractère créatif à savoir ; l'aspect technologique, économique...etc. [23] [30] [31]
- L'encadrement de cette solution par des outils et des démarches créatives. [31] [29]

La deuxième phase du processus d'innovation est l'implémentation qui permet de transformer l'idée créative en produit réel. Elle fait souvent référence à l'ensemble des activités mises en œuvre pour transformer une idée de produit nouveau en une réalisation effective [28]. Elle se compose de trois étapes principales : la génération de l'idée, le développement et la commercialisation.

La combinaison des trois phases du processus, à savoir la créativité, la génération de l'idée et son développement donne naissance à l'invention. On peut parfois confondre l'invention avec l'innovation alors qu'ils sont deux concepts différents. L'invention est l'apparition de l'idée d'un nouveau produit ou processus, tandis que l'innovation est le premier essai de sa réalisation et sa commercialisation. [32]

Nous pouvons déduire que l'étude de l'implémentation de la solution créative doit répondre aux critères suivants :

- Génération de l'idée à travers la réalisation d'une veille technologique ayant pour but le suivi de l'actualité du développement du domaine où on souhaite implémenter la solution innovante, le choix et la justification de la solution adoptée. [30]
- Management de l'innovation par des méthodes et des outils adéquats [21].
- Développement technique [23]
- Faisabilité et utilité de l'innovation [24] [31]
- Réalisation de l'innovation après avoir trouvé une source de financement [24]
- Diffusion et commercialisation de l'innovation [23] [24]

2.4 CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Les établissements de formation et en particulier les écoles d'ingénieurs représentent un environnement où règnent les inventions et les idées innovantes des futurs ingénieurs [5]. Leur fonction principale au Maroc est de satisfaire les besoins sectoriels des différents domaines sociaux et économiques. [33]

La formation des ingénieurs est stratégique pour le Maroc, puisqu'elle forme des cadres dotés de compétences nécessaires à la réussite des grands projets de développement. L'innovation et la créativité résident parmi ces compétences aux quelles le gouvernement a dernièrement accordé une attention particulière. Il a mis en place un nombre important de programmes, plans, et initiatives promouvant l'innovation. [3]

L'originalité de ce travail réside dans le fait que l'étude du processus d'innovation dans l'ingénierie mécanique au Maroc est un domaine peu exploré selon le faible nombre de travaux trouvés dans la littérature.

Notre mesure de l'innovation est cadrée dans le périmètre des projets d'ingénierie mécanique réalisés suite à une collaboration entre l'Ecole nationale supérieure d'électricité et de mécanique (ENSEM) de Casablanca et des entreprises appartenant à des secteurs différents au Maroc . Ces projets sont réalisés par des élèves ingénieurs durant le dernier semestre de leur formation, au sein d'une entreprise, sous le tutorat d'un professeur d'une part, et d'un industriel d'autre part. Ce projet permet au futur ingénieur la transition du milieu universitaire au milieu professionnel. Il représente une opportunité de création de liens et de partage d'expériences entre l'industrie et les écoles d'ingénieurs. Il est bénéfique pour les entreprises, parce qu'il permet de résoudre des problématiques issues de besoins réels, raison pour laquelle, elles consacrent souvent un budget pour la réalisation des solutions jugées pertinentes et innovantes, qui sont proposées et détaillées par les élèves ingénieurs. Un projet en génie mécanique est validé par sa richesse technique et sa pertinence et s'il appartient en particulier aux catégories suivantes ;

- Le management de la qualité, l'hygiène, la sécurité et l'environnement (QHSE)
- La maintenance industrielle
- La conception et le dimensionnement des systèmes mécaniques
- L'étude et la modélisation des structures mécaniques
- L'optimisation des performances industrielles

Les élèves ingénieurs réalisant ces projets appartiennent aux principales spécialités du génie mécanique que nous explicitons ci-dessous en se basant sur les descriptifs de leurs accréditations ;

- La spécialité conception mécanique et production intégrée (CMPI), vise la formation des ingénieurs spécialistes de l'ingénierie des produits, en maîtrisant des méthodes et des outils pour l'innovation, la recherche et le développement, ainsi que les techniques d'industrialisation. Les activités pédagogiques (cours, travaux pratiques et projets) abordent des problématiques de nature technique à savoir : la conception, le dimensionnement et la modélisation des systèmes mécaniques, l'optimisation de la production, l'étude technique de la maintenance des systèmes mécaniques.
- La spécialité qualité maintenance et sécurité industrielle (QMSI), permet à l'ingénieur d'acquérir des connaissances scientifiques et techniques nécessaires à l'identification, la compréhension, la maîtrise et la résolution des problèmes posés par le management, la maîtrise des processus, la qualité, la maintenance et la sécurité industrielle, tels qu'ils se présentent réellement dans l'industrie.
- La spécialité génie des systèmes mécaniques (GSM), prépare les futurs ingénieurs à l'approche de l'étude, la conception et la simulation des machines, des équipements, des structures ou tous types de systèmes mécaniques incorporant diverses technologies mécaniques, en se basant sur des outils de la CAO moderne, tel que la modélisation géométrique, les éléments finis ou la réalité virtuelle.

Dans cette optique, les ingénieurs mécaniciens au Maroc reçoivent une formation qui les prépare à être des spécialistes industriels, dont la fonction principale est la résolution de problèmes techniques complexes et pluridisciplinaires. La réalisation d'une solution efficace et innovante ne peut aboutir sans le respect d'un processus bien déterminé qui mobilise des méthodes et des outils techniques, scientifiques et managériaux. A partir de ce constat et d'observations issues de l'industrie, nous pouvons formuler l'hypothèse suivante :

« Les projets du génie mécanique au Maroc sont innovants et suivent les étapes d'un processus d'innovation standard ».

Par conséquent, tout au long de cette étude, nous essayons de vérifier la validité de cette hypothèse à travers l'évaluation réalisée sur un échantillon de projets du génie mécanique au Maroc.

3 MÉTHODOLOGIE ET DÉMARCHE DE L'ÉTUDE

La démarche de notre étude qui consiste à évaluer l'innovation dans des projets du génie mécanique est quantitative. Elle permet de fragmenter un phénomène observé en plusieurs sous-parties qui sont transformées en des variables mesurables [34]. Nous adoptons la grille d'évaluation comme un outil d'observation et de mesure pour notre étude quantitative. C'est une méthode qui offre la possibilité de donner un jugement sur la qualité de productions, de processus ou d'apprentissages complexes [35].

La figure 2 représente la démarche suivie pour l'élaboration de notre grille d'évaluation.

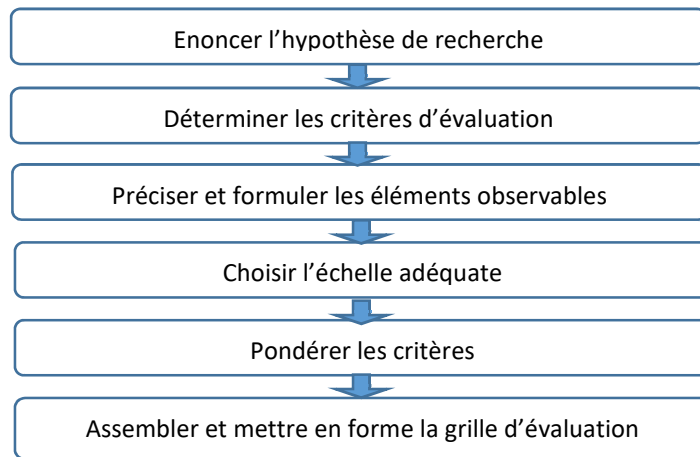


Fig. 2. La démarche d'élaboration de la grille d'évaluation

Nous reprenons dans la grille d'évaluation les résultats de notre revue de littérature. En effet, nous associons aux composantes du processus d'innovation des critères et des éléments observables qui l'explicitent et offrent la possibilité de les mesurer.

La première étape consiste à distinguer les projets innovants des projets non-innovants en se basant sur la définition de l'innovation établie dans l'état de l'art.

Nous appliquons la grille d'évaluation uniquement aux projets estimés innovants. Nous détaillons dans le tableau 2, les critères et les éléments observables relatifs aux composantes du processus d'innovation, à savoir ; la créativité et l'implémentation.

Tableau 2: Eléments constituant la grille d'évaluation de l'innovation dans les projets du génie mécanique

Composantes	Critères	Eléments observables
C1.Créativité	C1.1 Créativité de la solution	Originalité de l'idée Caractère créatif : aspect technologique, économique...
	C1.2 Encadrement de la créativité	Suivi d'une démarche de résolution de problèmes créative
C2. Implémentation	C2.1 Génération de l'idée	Veille technologique
		Justification du choix de l'idée
	C2.2 Management de l'innovation	Suivi d'une méthode, de processus, d'outils de management de l'innovation
	C2.3 Développement technique	Développement et étude technique de la solution
	C2.4 Faisabilité de l'innovation	Etude de la faisabilité de la solution : Technique, financière, réglementaire, environnementale
	C2.5 Réalisation de l'innovation	Trouver une source de financement
Concrétisation de la solution		
C2.6 Diffusion de l'innovation	Commercialisation du projet	

L'outil de l'évaluation est rempli après une étude approfondie des livrables des projets de fin d'études qui sont effectués dans des entreprises durant une période allant de 4 à 6 mois. Ces livrables sont des rapports contenant une description exhaustive des étapes de réalisation du projet ainsi que les résultats obtenus, des présentations avec le logiciel PowerPoint résumant le projet, et d'autres éléments qui varient d'un projet à un autre tel que : des devis, des dessins de définition, des applications ...etc

Nous attribuons à chaque projet des notes adéquates selon le niveau de satisfaction aux différents critères. Pour les critères des composantes C1 et C2, nous avons opté pour une échelle descriptive analytique sous forme d'une échelle de Likert. [36]

Nous explicitons dans le tableau 3 la description de l'échelle d'appréciation adoptée.

Tableau 3: Échelle adoptée pour noter les projets innovants

Echelle	Description
1	Non satisfait
2	Peu satisfait
3	Satisfait
4	Totalement satisfait

4 RÉSULTATS DE L'ÉVALUATION

4.1 CARACTÉRISTIQUES DE L'ÉCHANTILLON

Nous avons traité et analysé les résultats de notre étude à l'aide du Logiciel SPSS (Statistical Package for Social Science).

Notre échantillon se compose de projets réalisés par des élèves ingénieurs des trois filières du génie mécanique de l'ENSEM à savoir : GSM, CMPI, et QMSI, et appartenant aux promotions 2015, 2016 et 2017.

Notre échantillon dispose des caractéristiques suivantes :

- Nous avons étudié un total de 116 projets, réalisés par 182 élèves ingénieurs au sein de 75 entreprises différentes, dont 50 sont réalisés par un seul élève ingénieur (monôme) et 66 par un groupe de deux élèves (binôme) ;
- Le genre des élèves ingénieurs est : 31% du genre féminin et 69% du genre masculin ;

Les projets étudiés sont réalisés au sein d'entreprises appartenant à des secteurs divers comme représenté dans le diagramme de la figure 3.

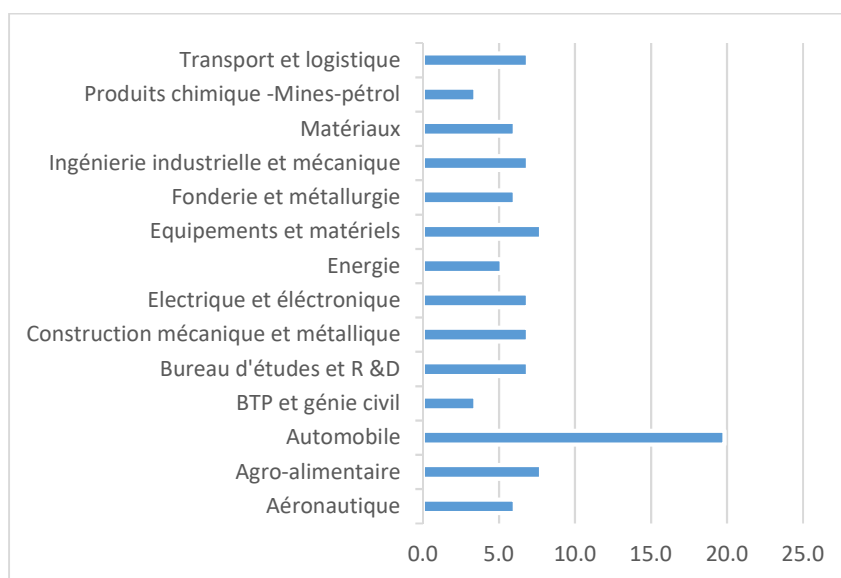


Fig. 3. Les secteurs des entreprises où les projets de l'échantillon ont été réalisés

Il est bien remarquable que le plus grand taux des projets du génie mécanique est réalisé au sein d'entreprises appartenant au secteur automobile. Ceci s'explique par plusieurs facteurs : l'adéquation entre les besoins de ce secteur et le profil des ingénieurs du génie mécanique, les conventions entre l'ENSEM et les industries automobiles...etc.

4.2 RÉSULTATS DE L'ANALYSE DES PROJETS DU GÉNIE MÉCANIQUE

4.2.1 RÉSULTATS DES PROJETS NON-INNOVANTS

La première étape de l'étude consiste à choisir les projets innovants qui répondent à la définition de l'innovation. Il résulte que le taux des projets qui ne sont pas innovants est 70 %. L'analyse de ces projets montre que 52,5% de ces projets représentent une problématique simple qui ne suscite pas la créativité et l'innovation, et 47,5% de ces projets représentent une situation complexe dont la résolution nécessite la proposition d'une solution innovante, mais l'équipe du projet s'est contenté de proposer des solutions d'améliorations simples et classiques telles que l'achat de nouveaux matériels, la mise en place de procédures standards... etc.

Nous avons étudié la répartition des projets non-innovants suivant la spécialité des élèves ingénieurs et la catégorie à laquelle appartiennent ces projets et que nous avons définie dans le contexte de l'étude.

Le graphe de la figure 4 montre que les projets de la spécialité QMSI sont les moins innovants. Ceci revient à plusieurs paramètres : les compétences acquises par les étudiants, la place de l'innovation dans le curriculum et les systèmes pédagogiques, la culture de l'innovation...etc.

Dans le graphe de la figure 5, il s'avère que les projets appartenant aux deux catégories maintenance et management QHSE sont les moins innovants. En effet, la plupart de ces projets proposent la mise en place d'un système de management en se basant impérativement sur des référentiels et des guides standards, ce qui contredit la part de la créativité dans le processus d'innovation.

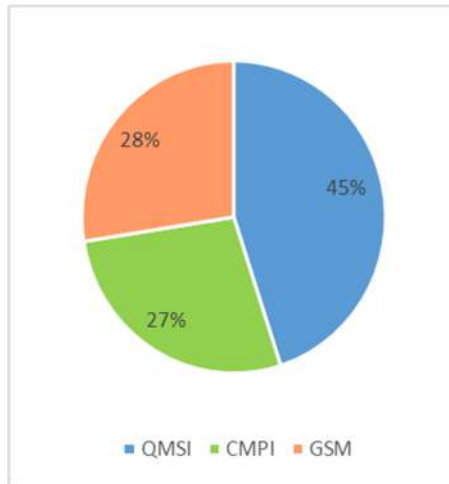


Fig. 4. La répartition des projets non-innovants selon les trois spécialités du génie mécanique

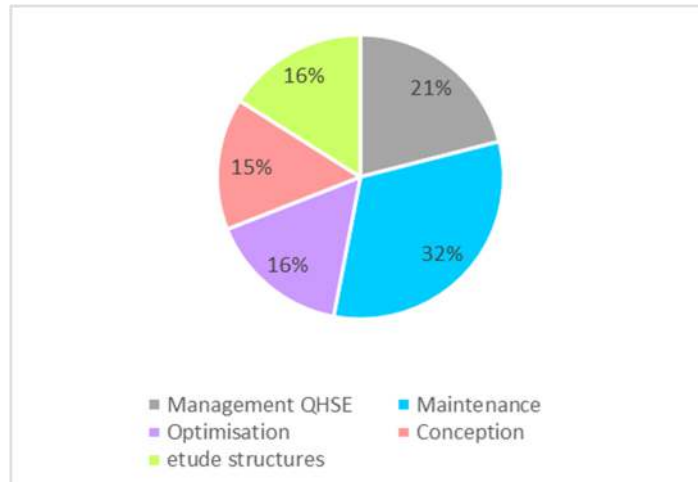


Fig. 5. La répartition des projets non-innovants selon les catégories des projets du génie mécanique

4.2.2 RÉSULTATS DES PROJETS INNOVANTS

Les projets sélectionnés et estimés comme des projets innovants représentent le nouvel échantillon auquel la grille d'évaluation a été appliquée. Les résultats de cette évaluation sont analysés selon plusieurs paramètres. Le graphe de la figure 6 illustre les taux de satisfaction des projets innovants de l'échantillon aux critères d'évaluation.

D'après ce graphe, bien que ces projets soient innovants, ils n'ont pas suivi toutes les étapes du processus d'innovation. En effet, le critère correspondant à la réalisation et la diffusion de l'innovation n'ont pas été satisfaits par un taux supérieur à la moitié de l'échantillon.

D'autre part, les taux correspondant à la satisfaction aux critères : encadrement de la créativité et management de l'innovation, montrent que la majorité des projets étudiés sont pauvres en termes d'outils de management et de structuration de la créativité et de l'innovation. C'est-à-dire que les méthodologies suivies pour élaborer les projets innovants ne se basent pas sur des démarches de résolution de problèmes créatives ou des méthodes d'innovation telle que l'outil TRIZ...etc.

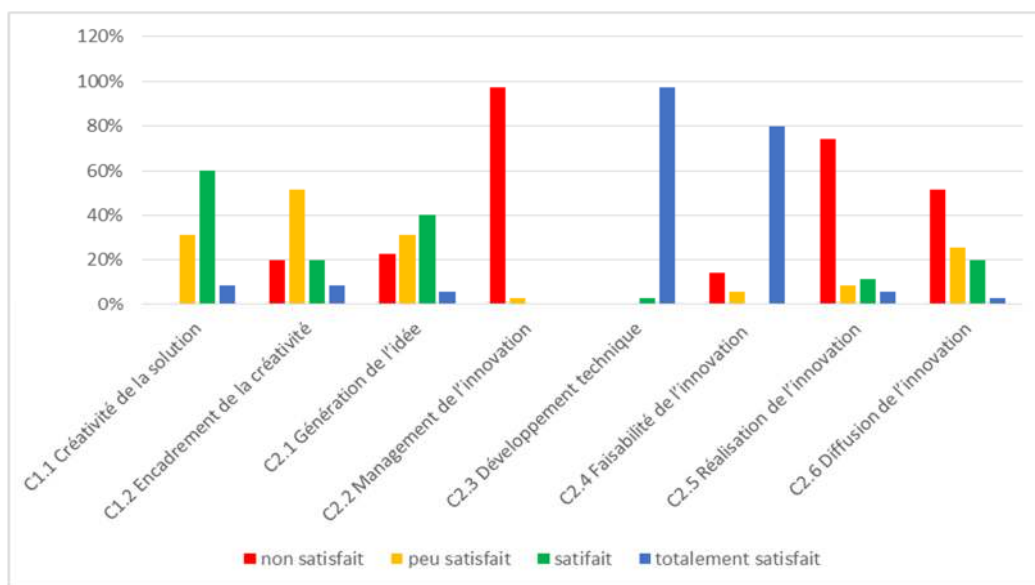


Fig. 6. Graphe du taux de satisfaction des projets du génie mécanique aux critères d'évaluation du processus d'innovation

Par ailleurs, le développement technique et la faisabilité de l'innovation sont des critères qui sont satisfaits par la quasi-totalité de l'échantillon. Ceci montre que les projets du génie mécanique sont techniquement riches et méthodiques.

L'identification des facteurs qui influencent le processus d'innovation est l'un des objectifs principaux de notre étude. Pour ce faire, nous avons calculé les moyennes des notes obtenues pour chaque critère et nous les avons classées selon la spécialité des élèves ingénieurs ayant participé à la réalisation du projet, la catégorie à laquelle appartient le projet, et le secteur de l'entreprise où le projet innovant a été réalisé.

ANALYSE DES RÉSULTATS SELON LA SPÉCIALITÉ DES ÉLÈVES-INGÉNIEURS

Le tableau 4 présente les moyennes correspondant à la satisfaction des projets aux critères de l'évaluation du processus d'innovation, classées selon la spécialité des élèves-ingénieurs.

Tableau 4: Les moyennes des notes obtenues par chaque spécialité du génie mécanique

	QMSI	CMPI	GSM
C1.1 Créativité de la solution	2,00	3	2,5
C1.2 Encadrement de la créativité	2,00	2,31	2,00
C2.1 Génération de l'idée	2,50	3	2,27
C2.2 Management de l'innovation	1,00	1,06	1,00
C2.3 Développement technique	3,00	4,00	4,00
C2.4 Faisabilité de l'innovation	3,50	3,50	3,40
C2.5 Réalisation de l'innovation	1	1,75	1,27
C2.6 Diffusion de l'innovation	1,75	1,81	1,67

Les trois spécialités du génie mécanique ont des moyennes rapprochées, avec un peu d'avance au profit de la filière CMPI pour certains critères en particulier ceux qui sont relatifs à la créativité. Ceci montre que le programme de formation de cette spécialité, et qui se base sur des matières qui mettent en lumière les techniques de la conception, le design et la création des systèmes mécaniques contribuent au développement de la créativité chez les futurs ingénieurs.

La moyenne de satisfaction au critère du management de l'innovation est faible pour les trois filières, ceci revient à l'absence des cours et des activités promouvant l'innovation dans le curriculum du génie mécanique.

ANALYSE DES RÉSULTATS SELON LA CATÉGORIE DU PROJET

Le tableau 5 présente les moyennes correspondant à la satisfaction des projets aux critères de l'évaluation du processus d'innovation, classées selon la catégorie à laquelle appartient le projet étudié.

Tableau 5: Les moyennes des notes obtenues par chaque catégorie des projets du génie mécanique

	Maintenance	Optimisation de la production	Conception et dimensionnement des systèmes mécaniques	Etude et simulation des systèmes mécaniques
C1.1 Créativité de la solution	2,00	2,50	3,00	2,43
C1.2 Encadrement de la créativité	2,00	2,50	2,3	1,43
C2.1 Génération de l'idée	1,50	2,00	2,45	2,14
C2.2 Management de l'innovation	1,00	1,00	1,05	1,00
C2.3 Développement technique	4,00	3,75	4,00	4,00
C2.4 Faisabilité de l'innovation	4,00	2,75	4,00	3,57
C2.5 Réalisation de l'innovation	1,00	1,75	1,50	1,14
C2.6 Diffusion de l'innovation	1,50	2,00	1,73	1,43

La catégorie du projet joue un rôle important dans l'innovation. Ils existent des différences remarquables entre les résultats des catégories étudiées. La catégorie Conception et dimensionnement des systèmes mécaniques devance le reste des catégories en ce qui concerne les critères relatifs à la créativité, la génération de l'idée et le développement technique. Quant aux critères relatifs à la concrétisation, la commercialisation de la solution innovante et le management de l'innovation, ils n'ont été satisfaits par aucune catégorie.

ANALYSE DES RÉSULTATS SELON LE SECTEUR DE L'ENTREPRISE

Le tableau 6 présente les moyennes correspondant à la satisfaction des projets aux critères de l'évaluation du processus d'innovation, classées selon le secteur de l'entreprise où le projet a été réalisé.

Tableau 6: Les moyennes des notes obtenues par secteur de l'entreprise

	Automobile	Aéronautique	Matériaux	Transport et logistique	Construction mécanique et métallique	Bureau d'études et R&D	BTP et génie civil	Energie	Fonderie et métallurgie	Ingénierie industrielle et mécanique
C1.1 Créativité de la solution	2,79	3,33	3,00	2,50	2,00	3,00	3,00	4,00	3,00	2,00
C1.2 Encadrement de la créativité	2,00	3,33	2,67	1,75	2,00	2,00	2,00	4,00	2,23	1,50
C2.1 Génération de l'idée	2,29	2,67	2,67	2,50	3,00	2,00	3,00	3,00	1,67	1,50
C2.2 Management de l'innovation	1,00	1,00	1,00	1,25	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
C2.3 Développement technique	3,93	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
C2.4 Faisabilité de l'innovation	2,86	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	3,25
C2.5 Réalisation de l'innovation	1,21	3,00	1,00	1,50	1,00	1,00	1,00	4,00	2,00	1,00
C2.6 Diffusion de l'innovation	1,57	3,00	2,00	1,50	1,00	1,00	1,00	4,00	2,00	1,25

Le secteur de l'entreprise a un impact important sur le processus d'innovation. Les résultats les plus marquants concernent les deux secteurs d'aéronautique et d'énergie qui ont obtenu les moyennes les plus élevées pour la plupart des critères de l'évaluation. Ceci vient en accord avec la stratégie de développement de ces deux domaines au Maroc, qui ont mis en place plusieurs plans et projets pour promouvoir l'innovation et le développement durable.

Les moyennes les plus faibles pour tous les secteurs de notre échantillon correspondent toujours au management de l'innovation.

4.3 DISCUSSION DES RÉSULTATS

D'après les résultats des moyennes générales et de la répartition des projets innovants, nous soulignons que la spécialité des réalisateurs de l'innovation, la nature et l'environnement du projet (représenté par le secteur de l'entreprise) influencent de façon significative le processus d'innovation des projets de notre échantillon. En effet, les compétences et les connaissances acquises par le futur ingénieur pendant sa formation agissent sur ses capacités cognitives et sur les méthodes et les démarches qu'il adopte pour résoudre une problématique technique. Les caractéristiques et la genèse des projets imposent des outils et des méthodes techniques et scientifiques conventionnelles pour étudier et développer les solutions innovantes. Par ailleurs, l'environnement où le projet innovant a été réalisé définit plusieurs éléments qui peuvent représenter un support pour l'innovation, nous citons la stratégie et la politique mise en place par l'état pour promouvoir l'innovation dans certains secteurs, la culture dominante, le financement...etc. Cependant, l'environnement peut parfois contraindre l'innovation à cause de certains obstacles tel que le risque économique, la résistance au changement, la politique gouvernementale, les problèmes financiers, les relations entre l'université et l'industrie... [37]

L'étude des critères relatifs à la créativité montre que les solutions proposées dans les projets non créatifs se présentent comme des solutions classiques et récurrentes. Les démarches de résolution de problèmes créatives sont rarement utilisées et elles sont substituées par des démarches standards et normatives.

Concernant les critères de la phase de l'implémentation, nous mettons en lumière les résultats extrêmes. D'une part, les deux phases du processus qui sont traitées dans la majorité des projets sont le développement technique et la faisabilité de l'innovation. Ceci s'explique par la maîtrise de l'ingénieur en génie mécanique des savoir-faire et des méthodes techniques acquises durant sa formation qu'il met en pratique pour répondre aux exigences du milieu industriel.

D'autre part, les critères correspondant au management de l'innovation, la concrétisation et la diffusion de la solution innovante ne sont pas satisfaits par la plupart des projets. Ceci peut être dû à plusieurs raisons à savoir : la non-valorisation de l'innovation, l'absence de formations en management de l'innovation dans le domaine de l'ingénierie mécanique, la peur du risque et la résistance au changement qui peuvent être engendrées par l'adoption d'une nouveauté, la tendance vers les solutions connues et classiques, les problèmes de financement des projets innovants...etc.

Pour synthétiser notre analyse, nous pouvons déduire que le niveau d'innovation est généralement faible dans les projets de génie mécanique. Ces derniers ne répondent pas à toutes les étapes du processus d'innovation suite à des raisons d'ordre techniques et managériales. Ce résultat représente une infirmation de notre hypothèse de départ.

Il s'avère donc nécessaire de mettre en œuvre un plan d'action visant le développement et la valorisation de l'innovation au sein de la formation en génie mécanique.

5 CONCLUSION

L'intérêt du présent travail est d'évaluer l'innovation des projets de fin d'études réalisés par les élèves ingénieurs du génie mécanique. Dans cette évaluation, nous nous sommes concentrés sur trois composantes principales caractérisant l'innovation : l'aspect innovant des projets, la créativité, et l'implémentation. Nous avons conçu une grille d'évaluation à partir de critères relatifs à chaque composante. Les résultats de cette évaluation nous ont permis de déterminer les éléments critiques sur lesquels nous devons agir dans notre plan de développement de l'innovation à savoir : le non-respect des phases du processus d'innovation, l'absence des méthodes et des outils du management de l'innovation, et le non aboutissement de la réalisation et la diffusion de l'innovation.

Nous proposons déployer un plan d'action qui prend en considération les recommandations suivantes :

- Proposer un modèle de processus d'innovation à suivre lors de la réalisation des projets innovants. Il se caractérise par des étapes, des méthodes et des outils adaptés aux spécificités du génie mécanique.
- Intégrer un cours sur le management de l'innovation dans les programmes de formation initiale et professionnelle du génie mécanique.
- Veillez sur la propagation de l'esprit d'innovation et de créativité chez les ingénieurs et les futurs ingénieurs en organisant des événements promouvant l'innovation (compétitions, conférences, ateliers créatifs, formations...) et en faisant intervenir des spécialistes dans le domaine.
- Consacrer un budget pour la réalisation des projets innovants.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le département du génie mécanique de l'ENSEM qui nous a accordé les documents nécessaires pour la réalisation de cette étude. Nous remercions également le centre national pour la recherche scientifique et technique (CNRST) au Maroc pour le financement de ce travail de recherche.

RÉFÉRENCES

- [1] Elhadani, D., Boudi, E., « Modélisation du processus d'innovation à l'aide de l'approche systémique », 2014.
- [2] Association Marocaine des investisseurs en capital, Grant Thornton conseil, « Etat des lieux sur le financement de l'Innovation au Maroc », 2014.
- [3] L.Gardelle, E.C. Gill, « Note de synthèse sur les modèles de formation d'ingénieurs en Europe et dans quelques pays émergents », 2015.
- [4] F. O. Soares, M. J. Sepúlveda, S. Monteiro, R. M. Lima, J. Dinis-Carvalho, "An integrated project of entrepreneurship and innovation in engineering education," *Mechatronics*, 23, pp. 987–996, 2013.
- [5] J. Forest, M. Chouteau, C. Nguyen, "Conceptions de l'innovation et formations de l'ingénieur," *Les cahiers du Musée des confluences*, Musée des Confluences, 7 : Innovation, pp. 37-47, 2011.

- [6] K.Kazerounian, and S. Foley, "Barriers to creativity in engineering education: A study of instructors and students perceptions". *Journal of Mechanical Design*, 129, 761-768, 2007.
- [7] J.A. Schumpeter, "The theory of economic development", Harvard University Press, Cambridge, MA, 1934.
- [8] C. Freeman and L. Soete, "the economics of industrial innovation", Routledge, Printer, 3th edition, 1997.
- [9] T.M. Amabile, R. Conti, H. Coon, J. Lazenby, M. Herron, "Assessing the work environment for creativity", *The Academy of Management Journal*, Vol39N.5, pp. 1154-1184, 1996.
- [10] F.Romon, « Le management de l'innovation. Essai de modélisation dans une perspective systémique », Ecole Centrale Paris, Français, <tel-00009312>, 2003.
- [11] K. Galanakis, "Innovation process. Make sense using systems thinking", *Technovation*, Vol.26 No.11, pp.1222-1232, 2006.
- [12] Q. ZHANG, "Process modeling of innovative design using systems engineering", université de Strasbourg, 2014.
- [13] OECD OSLO "manual guidelines for collecting and interpreting innovation data", ISBN 92-64-01308-3 – No. 54261, VOL 3, 2005.
- [14] Afnor Normalisation, « *FD X50-271. Management de l'innovation - Guide de mise en œuvre d'une démarche de management de l'innovation* », Afnor, 2014.
- [15] A.Morrison B.and Johnston, "Personal creativity for entrepreneurship: teaching and learning strategies. *Active Learning in Higher Education*", 4, 145–158, 2006.
- [16] S. Fernez-walch and F.Romon, « *Management de l'innovation, de la stratégie aux projets* », 3ème édition, p 14, Magnard-Vuibert, septembre 2013.
- [17] G.Zaltman, R. Duncan and J. Holbek, "Innovations and organizations". New York: John Wiley, 1973.
- [18] Cornell University, INSEAD, et WIPO, 2015.
- [19] E. Ronald Goldsmith and R. Foxall Gordon, "The Measurement of Innovativeness The International Handbook on Innovation ELSEVIER 321-330, 2003.
- [20] I. Badran, "Enhancing creativity and innovation in engineering education, *European Journal of Engineering Education*", 32:5, 573-585, 2007.
- [21] P. Livotov, "innovation skills in advanced course in new product development and inventive problem solving with TRIZ for mechanical engineering students", World Conference: TRIZ FUTURE, TF 2011-2014 *Procedia Engineering* 131, 767 – 775, 2015.
- [22] C. CHEN, B. C. JIANG and K. HSU, "Engineering and management curriculum reform in fostering students' Creativity" *European Journal of Engineering Education*, Vol. 30, No. 2, 191–202, May 2005.
- [23] Wojciech Nasierowski, "Criteria for Assessment/Selection of Innovative Projects", *PICMET Proceedings*, 9-13 July, Istanbul, Turkey, PICMET, 2006.
- [24] M. H.Frederiksen and M. P. Knudsen, "From Creative Ideas to Innovation Performance: The Role of Assessment Criteria", *CREATIVITY AND INNOVATION MANAGEMENT*, 2017.
- [25] B.BERNSTEIN, P.J. and Singh, "An integrated innovation procedss model based on practices of Australian biotechnology firms"; *Technovation*, Vol. 26 No. 5-6, PP. 561-572, 2006.
- [26] R.ROTHWELL, "Towards the fifth generation innovation process", *International marketing review*, vol 11, No 1, pp.7-31, 1994.
- [27] R.G. Cooper, "Stage-gate systems: a new tool for managing new products", *business horizons*, vol 33, no 3, pp. 44-54, 1990.
- [28] P. Bila-Deroussy, C. & S. D. Kaba, "Addressing complexity in design: a systemic model of creativity and guidelines for tools and methods", *International Journal of Design Creativity and Innovation*, 2015
- [29] G.Aznar, « *Les inventeurs de la créativité* », Editions Créa université, Paris, 2012.
- [30] Doctoriales, « *Eléments d'évaluation du projet innovant* », Normandie 2011.
- [31] Agence de promotion de l'industrie et de l'innovation. « *Grille d'évaluation -Concours National de l'Innovation 2016* ». Tunisie, 2016.
- [32] J. Fagerberg, "Innovation : A guide to the literature", in Fagerberg, J., Mowery, D.C. and Nelson, R.R (Eds), *The Oxford Handbook of innovation*, Oxford University Press, 2006.
- [33] K. Mellakh, « *La formation des ingénieurs par le système d'enseignement supérieur au Maroc Les ingénieurs maghrébins dans les systèmes de formation* », IRMC. pp.225. 2001.
- [34] L.Cohen, L. Manion, and K. Morrison, "*Research methods in education*", London : Routledge, 2007.
- [35] G.SCALLON, « *L'évaluation des apprentissages dans une approche par compétences* », Saint-Laurent : ERPI, 2004.
- [36] R. Likert, "*A technique for the measurement of attitudes*", New York : Columbia university Press, 1932.
- [37] N.Lagziri, H.Achelhi, M.Bennouna, et P. Truchot, « *Les barrières comme déterminants de l'innovation au Maroc: Cas de la région de Tanger-Tétouan* », *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 4 (1), 203-221, 2013.