

## Essai de modélisation du processus de réalisation de projets innovants dans une école d'ingénieurs au Maroc

### [ Modeling test of the process of realization of innovative projects in an engineering school in Morocco ]

*Imane ZERGOUT<sup>1</sup>, Souad AJANA<sup>1</sup>, Zineb AIT HADDOUCHANE<sup>1</sup>, and Soumia BAKKALI<sup>2</sup>*

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

<sup>2</sup>Département 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:** Nowadays, the concept of innovation is omnipresent in political and economic discourses and in technological, socio-economic and scientific development plans. This returns to the fundamental role of innovation in solving complex problems in a revolutionary way that helps lead countries to development and prosperity.

The realization of an innovation is not the result of a random act, but the result of a process rich in scientific and technical tools and methods using material and human resources. These human resources must possess specific technical and transversal innovation skills. These competencies are reflected in the competence frameworks for engineering education, which increasingly emphasize the need to train creative and innovative engineers capable of succeeding in major development projects.

To this end, engineering education, whether in engineering schools or universities, must manage and structure the resources and activities needed to promote innovation in a well-defined process. Thus, the objective of this work is to propose a systemic modelling of the process of realization of an innovative project in the training of engineers. To do this, case studies were conducted in an engineering school in Morocco. This involves studying innovative projects for implementing an "ISO 14001" environmental management system in an engineering school. These studies identify several elements that characterize the innovation process such as: input elements, output elements, control milestones and resources. The added value of this research work is the understanding of the complexity of the innovation system in the context studied through its representation. This will facilitate the identification of barriers to innovation in engineering education and help put in place an appropriate action plan to promote innovation and creativity.

**KEYWORDS:** Innovation, project based learning, engineer education, sustainable development, SADT formalism.

**RÉSUMÉ:** Aujourd'hui, le concept d'innovation est omniprésent dans les discours politiques et économiques et dans les plans de développement technologique, socio-économique et scientifique. Ceci revient au rôle fondamental de l'innovation dans la résolution de problèmes complexes d'une manière révolutionnaire qui aide à mener les pays vers la voie du développement et de la prospérité.

La réalisation d'une innovation n'est pas le fruit d'un acte aléatoire, mais le résultat d'un processus riche d'outils et de méthodes scientifiques et techniques mettant en action des ressources matérielles et humaines. Ces ressources humaines doivent posséder des compétences techniques et transversales spécifiques en matière d'innovation. Ces compétences apparaissent dans les référentiels de compétence de la formation des ingénieurs, qui mettent de plus en plus l'accent sur la nécessité de former des ingénieurs créatifs et innovateurs capables de réussir les grands projets de développement.

A cette fin, la formation des ingénieurs, que ce soit dans les écoles d'ingénieurs ou dans les universités, doit gérer et structurer les ressources et les activités nécessaires pour promouvoir l'innovation selon un processus bien défini. Ainsi, l'objectif de ce travail est de proposer une modélisation systémique du processus de réalisation d'un projet innovant dans la formation des

ingénieurs. Pour ce faire, des études de cas ont été menées dans une école d'ingénieurs au Maroc. Il s'agit d'étudier des projets innovants d'implémentation d'un système de management environnemental « ISO 14001 » dans une école d'ingénieur. Ces études permettent d'identifier plusieurs éléments qui caractérisent le processus d'innovation tels que : les éléments d'entrée, les éléments de sortie, les jalons de contrôle et les ressources. La valeur ajoutée du présent travail de recherche est la compréhension de la complexité du système d'innovation dans le contexte étudié à travers sa représentation. Ceci facilitera la détection des obstacles qui entravent l'innovation dans la formation des ingénieurs et aidera à mettre en place un plan d'action approprié pour promouvoir l'innovation et la créativité.

**MOTS-CLEFS:** Innovation, apprentissage par projet, formation des ingénieurs, développement durable, formalisme SADT.

## 1 INTRODUCTION

L'innovation est un levier de création de la valeur et de développement socio-économique, en particulier pour les pays à économie émergente tel que le Maroc [1]. Face aux effets de la mondialisation, notamment la concurrence accentuée, le progrès technologique et numérique rapide, elle se présente aujourd'hui comme une nécessité, et non une simple alternative [2]. Le terme innovation n'évoque pas simplement une invention, ou une solution ingénieuse à un problème technique, elle n'est pas non plus le résultat d'une démarche aléatoire. C'est un système complexe, qui se compose d'un processus avec des phases bien déterminées, et mobilisant plusieurs acteurs. L'innovation est à la fois un résultat et le processus suivi pour parvenir à ce résultat. Elle doit donc être gérée et organisée par des instruments et des méthodes bien précis [3].

Les entreprises ne sont pas les seuls organismes concernés par le management de l'innovation. Les établissements de l'enseignement supérieur, et particulièrement les écoles d'ingénieurs doivent eux aussi mener des initiatives d'organisation et de pilotage de l'innovation. Ces dernières représentent un environnement où règnent les inventions et les idées innovantes des futurs ingénieurs. [4]

L'innovation est représentée selon différents niveaux dans la formation des ingénieurs, notamment à travers les activités d'apprentissage par projet, à savoir les projets individuels et collectifs réalisés par les élèves ingénieurs sous l'encadrement des tuteurs. [5]

La formation des ingénieurs au Maroc déploie de manière croissante des mesures considérables pour promouvoir l'innovation chez les futurs ingénieurs, tel que l'intégration de cours et d'activités en relation avec le management de l'innovation dans les curriculums, la mise en relief des compétences nécessaires pour innover dans certains référentiels de compétences en particulier dans certaines écoles qui ont été accréditées par la Commission des titres d'ingénieur (CTI). La CTI a récemment intégré dans son référentiel que le profil de l'ingénieur doit se caractériser par la capacité à entreprendre et innover aussi bien sur le niveau organisationnel dans l'entreprise que personnel dans ses propres projets [6].

Malgré ces efforts, le niveau d'innovation chez les futurs ingénieurs n'est pas satisfaisant. En effet, des études exploratoires et des observations réalisées au sein des écoles d'ingénieur au Maroc montrent que les projets innovants des étudiants n'aboutissent pas, bien qu'ils soient créatifs et ingénieux. Ceci peut être dû aux raisons suivantes :

- Absence d'utilisation des démarches et des méthodes du management de l'innovation tel que (TRIZ [7], chapeaux de Bono [8]. . . . )
- Absence d'une définition exhaustive des étapes du processus d'innovation.
- Manque de guides destinés au management des projets d'innovations et de leur concrétisation au sein des écoles d'ingénieurs.

Pour remédier à ce problème, une compréhension et une modélisation du processus d'innovation dans la formation des ingénieurs est nécessaire. L'objectif de cette modélisation est de représenter l'organisation des compétences, des connaissances et des ressources dans les projets d'innovation, selon un enchaînement logique.

L'étude que nous avons réalisée représente une première étape de notre essai de modélisation du système d'innovation dans la formation des ingénieurs. Notre objectif est de déterminer, à travers des études de la réalisation de projets innovants menée à l'Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique (ENSEM) à Casablanca, les étapes principales de l'élaboration des projets innovants réalisés par les élèves ingénieurs, ainsi que les facteurs qui ont une influence sur ces étapes. Pour ce faire, nous avons défini les caractéristiques du processus d'innovation, puis nous avons décrit l'approche adoptée pour modéliser ce processus tout en justifiant notre choix. Ensuite, nous avons procédé à la description et à l'analyse du déroulement des expérimentations, et enfin nous avons présenté les résultats à travers le modèle proposé.

## 2 INNOVATION ET FORMATION DES INGÉNIEURS

L'innovation est définie par l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE) comme « le processus qui permet de transformer une idée en un produit ou un service vendable nouveau ou amélioré, ou en une nouvelle façon de faire. Le processus d'innovation couvre toutes les activités scientifiques, techniques, commerciales et financières nécessaires pour aller jusqu'au succès de la commercialisation du produit ou du service nouveau ou jusqu'à la mise en place effective de la nouvelle façon de faire. » [9]

L'innovation a occupé dernièrement une place d'une grande importance dans l'éducation. En effet, la formation permet à l'individu de développer certaines connaissances, compétences et talents qui garantissent la réussite d'une innovation [10]. Les établissements de la formation et en particulier les écoles d'ingénieurs représentent un environnement où règnent les inventions et les idées innovantes des futurs ingénieurs. [4]

Dans la formation des ingénieurs, l'innovation prend des formes différentes. Elle représente simultanément une compétence à acquérir et à développer chez l'étudiant [11], à travers les différentes activités pédagogiques qu'elles soient des cours, des travaux pratiques, ou des projets, elle est aussi incarnée dans la solution innovante produite par l'élève, et le processus suivi pour la réalisation de cette solution. [3] Malgré la complexité du concept d'innovation, et l'absence de référentiels qui l'encadrent dans la formation, il existe certaines mesures dont l'implémentation favorise le développement de l'innovation sur les différents plans que nous présentons dans la figure 1. Nous avons résumé dans cette figure les principaux résultats des travaux qui ont entamé l'innovation dans la formation, à savoir ; [12] [13] [14] [15] [16].

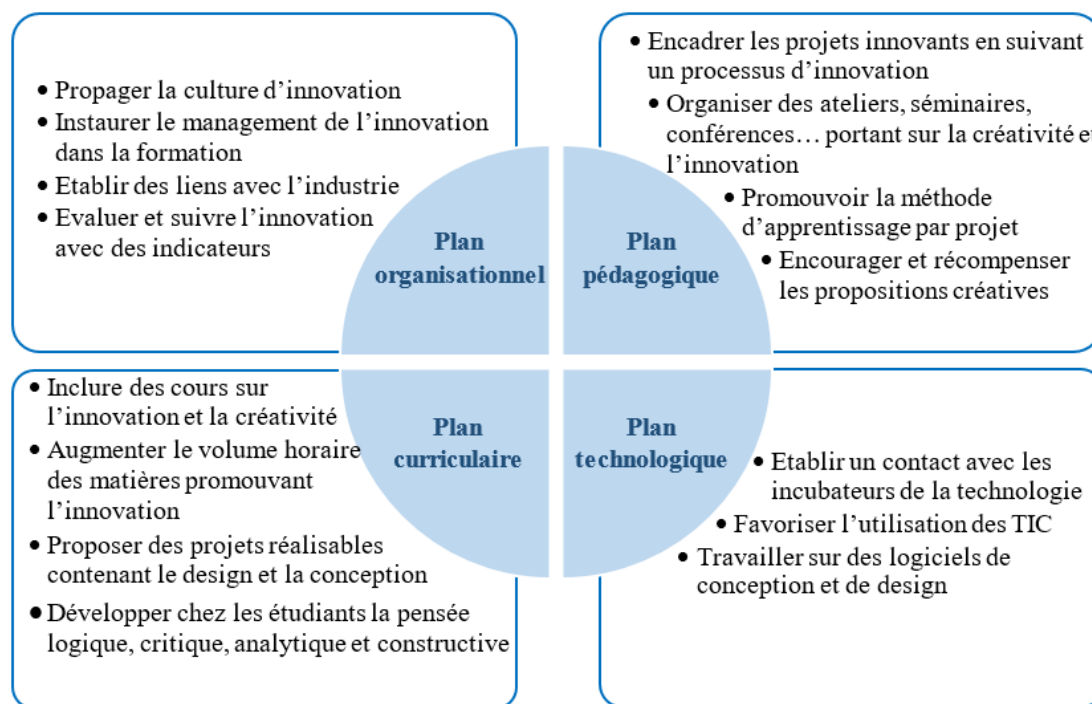


Fig. 1. Mesures promouvant l'innovation dans la formation des ingénieurs

Les activités d'apprentissage par projet permettent aux étudiants de maîtriser certaines compétences clés qui rendent l'élève ingénieur plus innovant et créatif. [17]

Plusieurs auteurs ont montré le rôle vital joué par les projets réalisés par les élèves au sein de leurs écoles ou au cours des stages en entreprises, dans le développement de l'innovation et de la créativité dans la formation des ingénieurs, à savoir ; [18], [19]...etc.

Ce type d'apprentissage est une forme de l'apprentissage actif centré sur l'étudiant et de l'innovation pédagogique. Il se définit comme étant « un processus systématique d'acquisition et de transfert de connaissances au cours duquel l'apprenant anticipe, planifie et réalise, dans un temps déterminé, seul ou avec des pairs et sous la supervision d'un enseignant, une activité observable qui résulte, dans un contexte pédagogique, en un produit fini évaluable ». [20]

Les activités d'apprentissage par projet renforcent chez les étudiants le désir d'apprendre et permet d'intégrer les connaissances théoriques dans la pratique. [21] Elles représentent une stratégie efficace pour accroître la participation des

étudiants au sein de leur environnement de formation, encourager et développer l'esprit de créativité, découvrir de nouveaux concepts et de nouvelles expériences et l'utilisation fréquentes des outils technologiques et numériques. [22]

Les écoles d'ingénieurs au Maroc suivent le modèle français. Les étudiants intègrent les écoles d'ingénieurs après être passés par les classes préparatoires. L'affectation aux grandes écoles se base sur le classement de l'étudiant dans le concours national commun. Ces instituts mettent en œuvre des efforts considérables pour être accréditées par des organismes internationaux tel que la Conférence des Grandes Ecoles (CGE). Certaines écoles sont déjà reconnues par cet organisme tel que l'École Hassania des Travaux Publics (EHTP), et l'Institut National des Postes et Télécommunications (INPT), et elles préparent leurs accréditations par le CTI. [23]

### 3 LE PROCESSUS D'INNOVATION

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 nouveau ou jusqu'à la mise en place effective de la nouvelle façon de faire. » [3] Au début, les auteurs définissaient le processus d'innovation comme un processus linéaire se composant d'un enchaînement d'étapes qui commence par la génération de l'idée et se termine par la commercialisation du produit innovant [24] [25] [26] ...etc. Mais désormais le processus d'innovation est considéré comme un système complexe qui prend la forme d'un enchevêtrement intelligible d'étapes et se définit par les caractéristiques suivantes :

- C'est un processus long qui se compose de plusieurs étapes et mobilise différents types de ressources [27].
- C'est un processus multidimensionnel, c'est-à-dire qu'il apparaît sous différentes dimensions interdépendantes et diverses. Ces dimensions peuvent être managériales, commerciales, technologiques, stratégiques... [27].
- Le processus d'innovation se fonde sur la dialogique ordre/désordre. En d'autres termes le processus d'innovation doit être organisé et maîtrisé par l'introduction de méthodes et d'outils techniques. Mais en parallèle, il ne faut pas négliger la créativité, qui ne peut suivre une règle rigoureuse. Nous nous retrouvons alors devant une contradiction, programmer le processus d'innovation tout en laissant une partie non programmée. [2]
- Les différentes formes d'innovation, c'est-à-dire les objets réalisés (produit, projet, service...) ne peuvent être dissociés de l'acteur qui les réalise (Inventeur, chercheur, élève, entreprise...). [2]

### 4 MÉTHODOLOGIE ET DÉMARCHE DE L'ÉTUDE

#### 4.1 LA RECHERCHE-ACTION

Nous avons choisi de réaliser nos travaux de recherche dans le cadre du courant « constructiviste ». C'est un courant qui consiste à construire des connaissances à l'aide d'un processus actif [28]. Nous avons opté dans ce travail pour une étude qualitative à base de recherche-action, qui est l'une des formalisations principales des démarches constructivistes. Cette démarche de recherche met en valeur l'implication directe du chercheur à l'action. Ainsi la personne effectuant l'expérimentation n'est plus neutre mais entre en action avec les acteurs sujets de l'étude.

Les outils utilisés dans notre méthode est l'observation active et participante et qui résulte de l'intégration du chercheur dans l'étude, ainsi que l'intervention réelle et l'évaluation des résultats. [29]

La première étape de notre étude est le suivi et la supervision de différents types de projets réalisés par des étudiants du génie mécanique à l'école nationale supérieure d'électricité et de mécanique (ENSEM) au Maroc. La première expérimentation consiste à suivre un cours qui porte sur le système de management environnemental ISO 14001 et d'encadrer des projets proposés en parallèle avec les séances du cours. Lors de la deuxième expérimentation, nous avons encadré deux projets de fin d'année entamant le sujet de l'implémentation de la norme ISO 14001 à l'ENSEM en intégrant les concepts de la ville intelligente « SMART CITY ». Ce travail se déroule sous un tutorat académique et un tutorat industriel.

#### 4.2 LA MODÉLISATION SYSTÉMIQUE

La Deuxième étape de notre travail de recherche se base sur l'analyse des données collectées lors des trois expérimentations, et de synthétiser les résultats sous la forme d'un modèle du processus suivi pour réaliser les projets innovants. Nous avons choisi de modéliser notre processus en se basant sur l'approche systémique. En effet, la compréhension et la maîtrise des systèmes complexes ne peuvent être accessibles qu'à travers leur décortication en sous-systèmes corrélés. Cette opération est l'objectif de la modélisation systémique. Elle se définit comme « une représentation des systèmes complexes à travers un système d'actions multiples ou par un processus qui peut être un enchevêtrement de processus ». [2]

Notre choix de cette approche se justifie par les considérations suivantes :

- Le processus d'innovation se caractérise par les spécifications des systèmes complexes
- Cette approche permet d'obtenir des résultats plus adéquats pour les systèmes complexes, par rapport aux méthodes classiques (analytique ou cartésienne). [30]
- Les modèles existants de représentation des différentes activités d'innovation sont insuffisants et ne peuvent être adaptés à toutes les situations. [2]
- Les représentations classiques des processus industriels ont un caractère centralisé et ne permettent pas de modéliser un processus complexe et variable mobilisant des acteurs qui n'effectuent pas les mêmes fonctions et peuvent appartenir à des domaines différents. [2]

Nous proposons de représenter le modèle du processus d'innovation en se basant sur une modélisation systémique des processus qui emploie le Business Process Management (BPM), et particulièrement la représentation graphique SADT ( Structured Analysis Design Technics ) et en utilisant le logiciel ARIS EXPRESS.

C'est une méthode descendante, modulaire et hiérarchique, qui permet de décomposer un système complexe dans un diagramme accompagné d'un texte qui le rend compréhensible. Cette méthode de modélisation représente les activités étudiées à travers un ensemble d'actigrammes. Ces activités permettent de transformer les données d'entrées en des données de sortie, en respectant les données de contrôle, et en s'appuyant sur des éléments de support (Figure 1). [31]

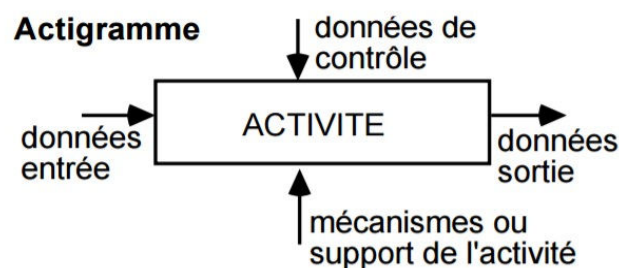


Fig. 2. Modélisation d'une activité par le formalisme SADT [31]

## 5 EXPÉRIMENTATIONS

### 5.1 EXPÉRIMENTATION 1 : PROJETS INNOVANTS PROPOSÉS LORS D'UN COURS

Un cours portant sur le système de management environnemental est dispensé aux élèves ingénieurs en troisième année du génie mécanique de l'ENSEM. Nous avons suggéré au professeur chargé de ce cours d'adopter des méthodes d'apprentissage actif au lieu de la méthode classique. Nous avons décidé de consacrer les deux tiers des séances dédiées à ce cours à des ateliers pour les activités d'apprentissage par projet.

Ce cours vise la réalisation d'objectifs d'ordre technique et transversal. En effet, les étudiants doivent acquérir des connaissances théoriques (Système de management environnemental, Exigences de la norme ISO 14001, Méthodes d'implémentation en industrie...) et des compétences transversales à travers des projets, tels que l'esprit d'équipe, la communication, l'autonomie, et particulièrement la créativité et l'aptitude à réaliser des projets innovants.

Les étudiants devaient se répartir en des groupes de trois personnes, et travailler sur des projets en parallèle avec l'avancement du cours. La problématique suivante leur a été énoncée : « L'administration de l'école ENSEM souhaite instaurer un système de management environnemental dans le but d'obtenir une certification ISO 14001. Afin de répondre aux exigences de la norme, plusieurs problèmes liés à l'environnement doivent être résolus en premier à savoir : la surconsommation de l'eau et de l'énergie électrique, la gestion des déchets et des rebuts des ateliers de la fabrication mécanique et électrique, la détérioration des espaces verts, l'utilisation et la gestion du papier... etc. » Chaque groupe devait proposer et développer une solution innovante pour résoudre un ou plusieurs problèmes environnementaux proposés dans cette problématique.

Au cours des séances, des ateliers ont été organisés pour que les élèves ingénieurs puissent effectuer des brainstormings et discuter les résultats de leurs recherches et de la veille technologique effectuées. Les élèves-ingénieurs ont structuré le résultat de ce travail sous forme d'un bilan qui contient trois suggestions de solutions innovantes. Ensuite, chaque groupe a effectué en dehors du cours, une étude de la faisabilité et de la pertinence des propositions pour choisir une seule solution innovante à développer.

Les séances de cours ont permis aux étudiants d’acquérir des notions théoriques essentielles pour l’implémentation du système de management environnemental ISO14001, ainsi que la détermination de la démarche de travail qui se base principalement sur des outils de management de l’innovation et des méthodes de résolution de problèmes créatives [32] et la rédaction des lignes directrices de la politique environnementale des projets.

**5.2 EXPÉRIMENTATION 2 : PROJETS DE FIN D’ANNÉE**

Nous avons supervisé et encadré la réalisation de projets de fin d’année par deux groupes formés de deux étudiants de la deuxième année du génie mécanique. Ces projets doivent être accomplis au bout d’un mois de travail. Chaque semaine une réunion qui dure 4 heures se déroule entre les étudiants et les encadrants afin de suivre l’état d’avancement et d’évaluer les résultats. Nous avons proposé aux deux groupes de travailler sur la même problématique proposée à la classe de la troisième année, mais l’originalité de ce cas est caractérisée par l’étude d’un cas réel à travers l’implémentation effective du système de management environnemental ISO 14001 au sein de l’ENSEM.

En raison de la durée restreinte des projets, nous avons limité le périmètre de travail des deux groupes. Concernant le premier groupe, nous lui avons proposé de travailler sur le cas de l’internat de l’école et les espaces qui les entourent à savoir : les terrains de sport, le réfectoire, et les jardins. Afin que le projet revête une texture plus créative et plus innovante, il a été exigé que les solutions d’améliorations proposées pour résoudre les différentes problématiques existantes (optimisation de la consommation en électricité et en eau, la gestion des déchets, l’amélioration des caractéristiques écologiques des infrastructures ...) répondent aux critères des villes intelligentes (SMART CITIES) , c’est-à-dire qu’elles doivent avoir un aspect technologique avancé tout en contribuant au développement durable.

Le deuxième groupe s’est chargé de l’étude du cas des ateliers de la fabrication mécanique, qui se composent des espaces suivants : une zone de soudage, une zone de fraisage, une zone de tournage, un laboratoire de métrologie, un magasin de gestion de stock, et une salle de réunions.

Nous avons proposé les mêmes démarches proposées lors des premiers projets.

**5.3 EVALUATION DES PROJETS**

Nous avons évalué les projets étudiés en se basant sur une grille contenant des critères d’évaluation des projets innovants. Cette grille est constituée d’éléments recueillis de la littérature [33], [34]. Les critères constituant la grille d’évaluation sont représentés dans le tableau 1.

*Tableau 1. Les critères d’évaluation des projets innovants des élèves-ingénieurs*

Critères	Eléments d’appréciation
Créativité du projet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Originalité des idées</li> <li>• Caractère innovant du projet (aspects technologiques, économiques, sociaux, environnementaux, énergétique...)</li> <li>• Origine de l’innovation (réponse à un besoin)</li> </ul>
Faisabilité de l’innovation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technique, Financière, Réglementaire, Environnementale</li> </ul>
Retombées de l’innovation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valeur ajoutée de l’innovation proposée par rapport à son environnement</li> </ul>
Esprit d’équipe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Organisation de l’équipe</li> <li>• Leadership</li> </ul>
Liaison innovante avec les autres modules du programme	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisation des notions acquises dans les autres modules du programme d’une manière innovante</li> </ul>
Assimilation des connaissances théoriques du cours	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Assimilation et application des notions fondamentales du cours</li> </ul>
Initiative d’ouverture sur l’extérieur (entreprises, organismes...)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Présentation de données issues d’une consultation réelle d’une entreprise ou d’un expert du domaine</li> <li>• Recherche d’informations réelles à partir de sources fiables (sites des ministères, projets de fin d’études, documents internes de l’école.... )</li> </ul>

## 6 RÉSULTATS DES EXPÉRIMENTATIONS ET PROPOSITION DE LA MODÉLISATION

Dans un premier temps, nous avons étudié en profondeur les étapes de réalisation des projets de chaque expérimentation, et nous avons déterminé les éléments essentiels et communs entre ces derniers.

Nous avons essayé de structurer les différentes étapes de la réalisation du projet proposé aux élèves-ingénieurs. Le but est de réaliser une modélisation SADT d'un processus d'innovation dans le cadre de l'amélioration de la formation des ingénieurs.

Dans notre modélisation (figure 3), le premier niveau de notre modèle SADT est le processus d'innovation des projets réalisés par les élèves ingénieurs.

Les actigrammes représentent les activités effectuées à chaque étape du processus, les éléments de la modélisation sont présentés dans le tableau 2.

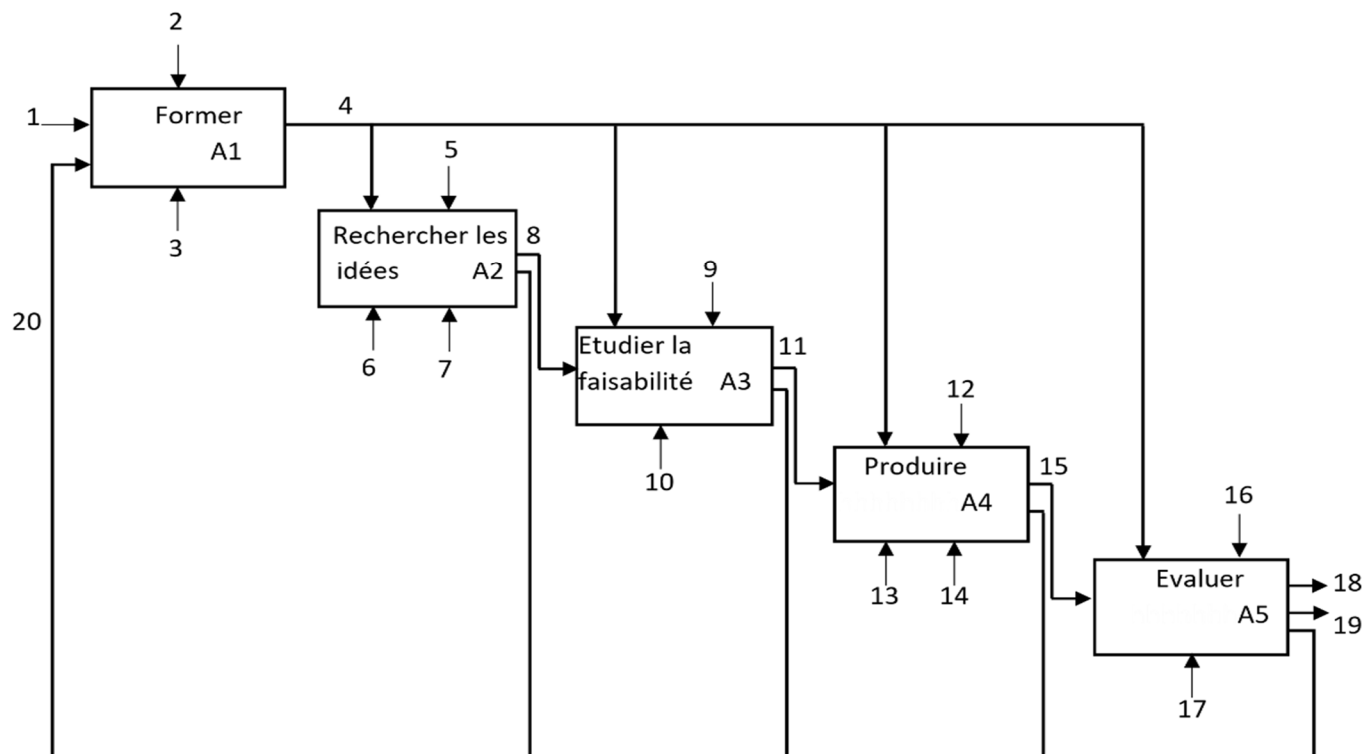


Fig. 3. SADT A0 : Processus d'innovation dans un projet réalisé par les élèves ingénieurs

Tableau 2. Composantes de la modélisation SADT du processus d'innovation du projet

Eléments du schéma	Référence	Explication
Actigrammes	A1	Présentation des différentes notions théoriques utiles pour la réalisation du projet innovant dans le cadre des cours du programme, lors des réunions avec les encadrants ou à travers l'auto-formation.
	A2	Génération d'idées de projets à l'aide de la veille technologique, les ateliers, le brainstorming...
	A3	Etude de la faisabilité et de la disponibilité des ressources par les étudiants et choix de la solution innovante.
	A4	Production du contenu du projet (la détection des problèmes, l'étude technique et financière des solutions innovantes...)
	A5	Evaluation des résultats.
Données d'entrée	1	Besoins, problématiques, idées sur l'innovation, notions théoriques...
	20	Retour d'expérience (obstacles et limites, erreurs à éviter, perspectives...)
Données de sortie	4	Méthodologies et démarches techniques à respecter
	8	Idées de solutions innovantes
	11	Solution sélectionnée
	15	Livrables contenant les différentes parties réalisées (description des démarches, dossier technique des solutions...)
	18	Validation des projets
	19	Dossier technique et financier et devis pour la demande de financement du projet
Données de contrôle	2	Objectifs déterminés dans le syllabus de la formation
	5	Objectifs de trouver des solutions innovantes répondant à la problématique
	9	Critères de choix de la solution innovante : respecter la définition de l'innovation
	12	Répondre aux objectifs du cahier des charges
	16	Respect de l'esprit créatif des étudiants
Support des activités	3	Le support de cours, des articles de la littérature, d'anciens rapports de projets de fin d'études ...
	6	Informations collectées par les élèves ingénieurs, discussion des résultats, brainstorming...
	7	Aide du professeur et des doctorants ingénieurs, anciens projets de fin d'études...
	10	Informations collectées sur internet, avis de professionnels, informations collectées sur le terrain...
	13	Connaissances techniques (méthodes de résolution de problèmes, analyse fonctionnelle, outils de management de l'innovation, développement durable, outils de conception ...)
	14	Documents internes de l'établissement, devis pour les solutions proposées, documents d'organismes de certification...
	17	Grilles des critères d'évaluation des projets innovants

Cette modélisation nous a permis de structurer les étapes de réalisation des projets innovants des élèves-ingénieurs . Elle nous facilitera donc la détection et la résolution des problèmes existants dans le processus d'innovation, ce qui assurera sa maîtrise.

## 7 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'intérêt de cette étude est la réalisation d'un premier essai de modélisation du processus d'innovation dans la formation des ingénieurs. Nous avons suivi le déroulement d'une expérience pédagogique d'apprentissage par projet, et nous avons étudié en profondeur les différentes étapes de la réalisation des projets innovants des élèves-ingénieurs. Cette étude nous a permis d'identifier les phases principales du processus d'innovation dans le cadre de l'apprentissage par projet, ainsi que les différents facteurs qui l'impactent. Nous avons ensuite structuré les résultats de l'étude dans une modélisation systémique à l'aide du formalisme SADT, dont nous avons explicité les composantes. Cette étude a permis de mettre en relief la pertinence de la modélisation systémique pour la compréhension et l'organisation du processus d'innovation dans la formation des ingénieurs.



Les limites de cette étude résident dans le manque de temps et des ressources accessibles aux élèves pour la réalisation du projet, ce qui les a empêchés d'aboutir à la dernière phase du processus et qui est la réalisation et la diffusion de l'innovation. Cette phase renvoie à la concrétisation du projet, c'est-à-dire à la transformation de l'invention en innovation. Par conséquent, nous avons décidé de mener les prochaines expérimentations sur des projets de fin d'études, des projets d'entrepreneuriat, et des projets de conception ... réalisés par des élèves-ingénieurs, afin d'établir des modélisations systémiques comportant des paramètres plus détaillés, et qui font agir des acteurs divers.

Notre objectif ultime est de renforcer l'innovation dans la formation des ingénieurs, à travers sa compréhension et sa structuration en concevant un modèle généralisé du processus d'innovation.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions le département du génie mécanique de l'ENSEM qui nous a permis d'effectuer les études des cas et 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.

## REFERENCES

- [1] Association Marocaine des investisseurs en capital, Grant Thornton conseil, « Etat des lieux sur le financement de l'Innovation au Maroc », 2014,
- [2] Elhadani, D. , Boudi, E. , « Modélisation du processus d'innovation à l'aide de l'approche systémique », 2014.
- [3] S. Fernez-walch and F. Romon, « Management de l'innovation, de la stratégie aux projets », 3ème édition, p 14, Magnard-Vuibert , septembre 2013.
- [4] 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.
- [5] R. Maniak , « Former à l'innovation : dépasser l'effet de mode » , Revue TELECOM, n° 168, p114.  
[http://crg.polytechnique.fr/fichiers/crg/perso/fichiers/maniak\\_1004\\_Extrait\\_revue\\_168\\_R.Maniak.pdf](http://crg.polytechnique.fr/fichiers/crg/perso/fichiers/maniak_1004_Extrait_revue_168_R.Maniak.pdf)
- [6] L. Mahieu, «Les enjeux de la créativité dans la formation d'ingénieurs », Pôle éditorial UTBM, Collection Ingénieur au XXIe siècle, p29-34, 2017.
- [7] E. Bono, «Serious Creativity: Using the Power of Lateral Thinking to Create New Ideas » , harperbusiness, 1992.
- [8] S. D. Savransky, Engineering of Creativity: Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving: CRC Press, Pages 181-182, 2000.
- [9] OECD OSLO "manual guidelines for collecting and interpreting innovation data", ISBN 92-64-01308-3 – No. 54261 , VOL 3 , 2005.
- [10] Looney, J. (2009), "Assessment and Innovation in Education", OECD Education Working Papers, No. 24, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/222814543073>
- [11] Béchar, J. P. , « L'enseignement supérieur et les innovations pédagogiques : une recension des écrits » , Revue des sciences de l'éducation, vol. 27, n° 2, 2001
- [12] 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.
- [13] E. L. Wang and J. A. Kleppe, "Teaching Invention, Innovation, and Entrepreneurship in Engineering" , Proceedings of the 2001 Annual Meeting of the NCIIA, Washington, DC, 6–9 March 2001, pp. 107 through 117, 2001.
- [14] I. Badran , "Enhancing creativity and innovation in engineering education, European Journal of Engineering Education", 32:5, 573-585, 2007
- [15] 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
- [16] Cropley, D. H. (2015). Promoting Creativity and Innovation in Engineering Education. Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts, 9(2), 161-171. DOI: 10.1037/aca0000008
- [17] 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.
- [18] Katajavuori, Lindblom-Ylänne et Hirvonen " the significance of practical training in linking theoretical studies with practice". Higher Education 51, 439-464, 2006
- [19] Lima, Rui & Dinis-Carvalho, José & Flores, Maria & van Hattum-Janssen, Natascha. " A case study on project led education in engineering: Students' and teachers' perceptions". European Journal of Engineering Education. 32. 337-347. 10.1080/03043790701278599 , 2007
- [20] Proulx J. , « Apprentissage par projet » , Presses de l'Université du Québec, P. 31, 2004
- [21] M. Blanchard, « Transformando la sociedad desde las aulas. Metodología de aprendizaje por proyectos para la innovación educativa en el Salvador ». Madrid: Narcea, 2014.

- [22] Verónica Basilotta Gómez-Pablos, Marta Martín del Pozo, Ana García-Valcárcel Muñoz-Repiso, "Project-based learning (PBL) through the incorporation of digital technologies: An evaluation based on the experience of serving teachers." *Computers in Human Behavior* 68: 501-512 , 2017
- [23] L. Gardelle, E. C. Gill, « Note de synthèse sur les modèles de formation d'ingénieurs en Europe et dans quelques pays émergents », (2015).
- [24] Cooper, R. G. , "Winning at new products. Accelerating the process from idea to launch". 3rd ed. Cambridge: Perseus, 2001.
- [25] Wheelwright, S. C. and Clark, K. B. , "Revolutionizing product development". New York: The Free Press, 1992.
- [26] Galanakis, K. , "Innovation process. Make sense using systems thinking". *Technovation*, 26 (11), 1222–1232, 2006.
- [27] Tomala , F. , Senechal , O. , Tahon, C. , « Modèle de processus d'innovation » , 3ème conférence Francophone de Modélisation et Simulation : «Conception, Analyse et Gestion des Systèmes Industriels» , Troyes (France). 2001.  
<http://www1.utt.fr/mosim01/pdf/ARTICLE-168.pdf>
- [28] Thietart, R. et al. , « Méthode de recherche en management » , 4e édition, Dunod, 2014
- [29] Cohen, L. , Manion, L. & Morrison, K. *Research methods in education*. London : Routledge. P 228, 2007.
- [30] Christofol , H. , Corsi, P. , Crubleau, P. , Delamarre , A. , Samier, H. , « Modélisation des processus d'innovation en PME » , 9e Congrès International de Génie Industriel, Canada, <hal-00782405> , Octobre 2011.
- [31] Espinasse B. , « Cours méthode fonctionnelle : SADT » , Université Aix-Marseille, Consulté le : 30 Janvier 2017.
- [32] Aznar . G, « Les inventeurs de la créativité » , Editions Créa université, Paris, 2012.
- [33] Doctoriales, « Eléments d'évaluation du projet innovant » , Normandie 2011. [http://www.unicaen.fr/ufr/eco/espaceprof/script1/script2/identification/bonnet\\_jean/Masterentrepreneuriat/projetcreationentreprise/Eltsdevaluationprojet2010.doc](http://www.unicaen.fr/ufr/eco/espaceprof/script1/script2/identification/bonnet_jean/Masterentrepreneuriat/projetcreationentreprise/Eltsdevaluationprojet2010.doc)
- [34] Agence de promotion de l'industrie et de l'innovation. « Grille d'évaluation -Concours National de l'Innovation 2016 ». Tunisie , 2016.  
[http://www.tunisieindustrie.nat.tn/innovation/download/Grille\\_evaluation\\_ent.pdf](http://www.tunisieindustrie.nat.tn/innovation/download/Grille_evaluation_ent.pdf)