

Le déploiement de la fonction qualité pour une amélioration de la formation des ingénieurs en génie mécanique

[The quality function deployment to improve the training of mechanical engineers]

Zineb Ait Haddouchane¹, Souad Ajana¹, Soumia Bakkali², and Imane Zergout¹

¹Département Génie Mécanique, Equipe de Recherche sur la Formation en Sciences de l'Ingénieur, Laboratoire de Recherche en Ingénierie, Université Hassan II, ENSEM, Casablanca, Morocco

²Département Génie Electrique, Equipe de Recherche sur la Formation en Sciences de l'Ingénieur, Laboratoire de Recherche en Ingénierie, Université Hassan II, ENSEM, Casablanca, Morocco

Copyright © 2020 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: Globalization is increasingly having an impact on the labor market, leading to strong competition. Nowadays, engineering missions have become more and more diversified. The customer-supplier relationship requires engineering schools to implement quality measures in favor of the various economic parties producing goods and services for a better acquisition of skills. This work aims to propose an improvement of mechanical engineering training programs in an engineering school in Morocco through the deployment of the QFD (Quality Function Deployment) quality approach. Our objective is to use the QFD tool in the field of engineering education. After the construction of the QFD matrix, we present the resulting analysis of the results and action plans to be implemented.

KEYWORDS: QFD, improvement, quality, training, skills.

RESUME: La mondialisation a de plus en plus un impact sur le marché du travail marocain qui est en pleine mutation. De nos jours, les missions d'ingénieur se sont amplement diversifiées. La globalisation impose aux écoles d'ingénieurs de mettre en œuvre des démarches qualité en faveur des diverses parties économiques productrices de biens et de services pour une meilleure acquisition des compétences. Ce travail vise à proposer une amélioration des programmes de formation de génie mécanique dans une école d'ingénieurs au Maroc par le déploiement de l'approche qualité QFD (Quality Function Deployment). Notre objectif est d'exploiter l'outil QFD dans le domaine de la formation en Sciences de l'ingénieur. Nous présentons la construction de la matrice QFD, l'analyse des résultats qui en découle ainsi que les plans d'actions à mettre en œuvre.

MOTS-CLEFS: QFD, amélioration, qualité, formation, compétences.

1 INTRODUCTION

Au Maroc, l'adéquation entre les exigences du marché du travail et les formations est au cœur des débats traitant l'efficacité des politiques éducatives. L'amélioration du capital humain doit être un préalable à tout développement en matière de productivité et de qualité des produits et des services.

Face aux enjeux et aux défis du 21^{ème} siècle, les ingénieurs en particulier ont une place spécifique dans toutes les professions intellectuelles et jouent un rôle vital dans l'évolution technologique et dans l'innovation [1]. Dans la proportion où la logique de marché mène à la focalisation sur les besoins du client tout en incorporant les exigences techniques, environnementales et sociales, les missions des ingénieurs deviennent de plus en plus complexes et nécessitent des compétences pointues. Les ingénieurs doivent donc être aptes à répondre prestement aux exigences du marché de travail marocain en mettant en place des solutions innovantes. Pour ce, les écoles d'ingénieurs déploient des efforts pour repenser leurs curricula et concevoir des dispositifs de formation permettant d'atteindre ces objectifs. Malgré les initiatives pensées par les différentes parties prenantes pour une adéquation quantitative et qualitative de la formation en ingénierie, les entreprises

continuent toujours à énoncer des critiques négatives [2]. Néanmoins, l'élaboration d'un plan d'étude à partir des compétences requises par le marché du travail reste une tâche délicate vu qu'il faut à la fois prendre en compte les attentes du monde professionnel et mettre en œuvre des objectifs qui peuvent être pris en considération et évalués dans les curricula [3].

Dans une étude précédente, s'intégrant dans le même travail de recherche, portant sur l'adéquation de la formation du génie mécanique et des compétences requises par le monde industriel [4], nous avons réalisé une enquête par questionnaire auprès des supérieurs hiérarchiques des ingénieurs génie mécanique de l'Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique (ENSEM), récemment diplômés. Nous avons pu identifier les compétences moyennement acquises par les ingénieurs et importantes à très importantes pour les responsables industriels.

Les résultats de l'étude réalisée sont illustrés par le tableau récapitulatif 1 qui présente l'évaluation par les responsables industriels des différentes compétences selon le niveau d'importance et le niveau d'acquisition par un ingénieur génie mécanique lauréat de l'ENSEM.

Tableau 1. Répartition des compétences selon le niveau d'importance et le niveau d'acquisition

Niveau d'acquisition / Niveau d'importance	Bien acquise ¹	Moyennement acquise ²
Très importante ³	<p>C1.1. Apprendre de nouveaux savoirs et développer de nouvelles habiletés</p> <p>C2.1. Définir les objectifs de l'analyse</p> <p>C3.1. Définir un cahier des Charges</p> <p>C3.3. Evaluer des solutions et choisir la plus adaptée</p> <p>C4.1. Etre autonome et s'auto-diriger</p> <p>C5.1. Etre engagé et montrer de la force de travail</p> <p>C5.2. Faire preuve de méthode, de rigueur et de précision</p> <p>C5.4. Agir de manière éthique et responsable</p>	<p>C1.2. Communiquer efficacement oralement et par écrit (en français, anglais, ...)</p> <p>C1.3. Mobiliser et partager ses connaissances fondamentales de l'ingénierie</p> <p>C1.4. Comprendre son environnement professionnel, technologique, écologique et économique pour agir</p> <p>C2.2. Choisir les outils et les méthodes d'analyse théoriques, numériques et/ou expérimentaux en fonction des objectifs et des ressources</p> <p>C2.4. Interpréter et présenter les résultats de l'analyse et de la modélisation</p> <p>C3.2. Créer des solutions innovantes, efficaces et durables</p> <p>C3.5. Mettre en œuvre la solution choisie</p> <p>C4.2. Gérer des Projets</p> <p>C4.3. Travailler en collaboration et gérer une équipe</p> <p>C5.3. Etre capable d'avoir un esprit critique</p> <p>C5.5. Se développer professionnellement</p>
Importante ⁴	<p>C3.4. Faire la conception de détail</p>	<p>C2.3. Analyser une situation complexe, dynamique et incertaine: modéliser, simuler et caractériser expérimentalement</p>

Dans l'absence d'un tableau qui croise les unités d'enseignement avec les compétences devant être acquises par un ingénieur de l'ENSEM:

- Comment peut-on assurer la corrélation entre les objectifs de formation et les compétences requises par le monde professionnel ?
- Quels sont les plans d'actions à proposer pour améliorer l'acquisition des compétences moyennement acquises ?

¹ Bien acquise : L'élève ingénieur est au niveau « synthétiser et évaluer ». La note affectée est comprise dans l'intervalle [8 ; 10]

² Moyennement acquise : L'élève ingénieur est au niveau « appliquer et analyser ». La note affectée est comprise dans l'intervalle [5 ; 7]

³ Très importante : cette compétence est indispensable pour un ingénieur en génie mécanique

⁴ Importante : si cette compétence est acquise par l'ingénieur, c'est un plus, sinon il pourra l'acquérir à travers l'expérience

Dans la présente étude de recherche, nous nous intéressons à l'amélioration de la qualité de la formation en sciences de l'ingénieur notamment en génie mécanique, hautement stratégique pour le Maroc. Pour ce faire, nous avons opté pour la méthode Quality Function Deployment (QFD) suivi de la loi Pareto très déployées dans le monde industriel. Le but est de déterminer ce qui doit être amélioré au niveau du contenu de la formation du génie mécanique pour une meilleure acquisition des compétences moyennement acquises.

Le travail effectué dans cet article concerne la filière Qualité Maintenance et Sécurité Industrielle (QMSI). Il présente les résultats d'une étude QFD, réalisée dans le cadre d'une thèse de recherche portant sur « l'approche qualité pour une adéquation formation-emploi des ingénieurs au Maroc: cas du génie mécanique de l'ENSEM ». Il expose également les principales actions d'amélioration à implémenter dans la formation du génie mécanique de l'ENSEM.

2 PRÉSENTATION DE LA MÉTHODE QFD ET SON APPLICATION DANS LE DOMAINE DE LA FORMATION

[5] définit le QFD comme « la voix du client dans l'entreprise, conduisant les exigences du client en caractéristiques qualité, développant un produit par le déploiement méthodique des relations entre les exigences et les caractéristiques, depuis chaque élément constitutif des fonctions Qualité requises jusqu'à chaque élément du produit et du procédé. La qualité globale du produit résultera de ce réseau de relations ». Le QFD a pour objectif non seulement de mettre en œuvre les procédures structurées et opérationnelles pour maîtriser et garantir la qualité, mais également d'étudier l'agencement de la qualité au cours de la conception et de la réalisation du nouveau produit [6].

La méthode QFD est préventive, elle permet d'épargner les actions correctives coûteuses. Ses avantages fréquemment évoqués concernent:

- Moins de changements après la mise du produit ou du service sur le marché
- Réduction des coûts de garantie
- Meilleure satisfaction du client
- Bonification de la communication entre services
- Réduction du délai de développement [7].

Nombreux sont les travaux qui ont intégré le QFD pour améliorer la qualité de l'éducation ou de la formation ou pour concevoir de nouveaux concepts entre autres:

- [8] utilisent le QFD comme méthode d'amélioration de la qualité et d'évaluation comparative des établissements de l'enseignement supérieur du Pakistan. Cette étude est basée sur le recueil de données auprès des élèves et des enseignants. Dans ce travail de recherche, les étudiants sont considérés comme le principal client de l'établissement d'enseignement et les enseignants de l'institut sont traités comme des descripteurs techniques de l'institut. Cette étude est menée dans six universités pakistanaïses. Une maison de la qualité a été créée en se basant sur les données collectées et qui a mis en lumière une préoccupation majeure en termes d'amélioration de la qualité tout en servant de référence à l'établissement.
- [9] ont étudié la faisabilité d'employer la technologie Internet en créant un modèle Web-QFD et ont présenté un exemple réel d'un système d'éducation à Taïwan. Ils ont montré que le Web-QFD permettrait de procurer un moyen plus efficace d'utilisation du QFD en matière de coût, de temps et de territoire et aussi de fournir un processus amélioré et décisionnel de groupe.
- [10] emploient le QFD pour concevoir un cours de base en statistique à l'Université King Fahd de pétrole et de minéraux. Afin de satisfaire toutes les parties prenantes du système éducatif, ils développent des notions de conception de cours alternatifs. Dans cette étude, les exigences du client sont exprimées par des recruteurs potentiels et des étudiants. Les exigences techniques sont obtenues auprès de membres expérimentés du corps professoral qui ont enseigné le cours à plusieurs reprises. Le recueil des données a été effectué à travers des questionnaires bien conçus auprès des étudiants, des professeurs et des entreprises.
- [11] réalise la projection de l'utilisation du QFD dans l'industrie sur l'évaluation de la qualité de la formation en sciences de l'ingénieur. Cette approche détaille les composantes de l'évaluation de la qualité de la formation ainsi que les facteurs à prendre en compte. Le processus n'est pas linéaire. Il se caractérise par une série de boucles de façon que les résultats d'une étape du processus sont utilisés pour améliorer la suivante.

L'évaluation du programme vise à déterminer si les étudiants atteignent les objectifs de la discipline enseignée et l'évaluation de l'établissement permet d'identifier les progrès vers l'atteinte des objectifs fixés. Dans l'évaluation des établissements et des programmes, la rétroaction influe sur l'élaboration de l'ensemble du programme d'études et non pas seulement sur les résultats de l'évaluation d'un cours individuel.

Le modèle du QFD fournit au corps professoral un langage et un cadre familiers pour la planification du processus d'évaluation. Il permet une augmentation de la satisfaction des clients et une diminution du temps de développement des processus.

3 DÉMARCHE DE LA CONCEPTION DE LA MATRICE QFD DANS NOTRE CAS D'ÉTUDE

Pour concevoir la matrice QFD de notre cas d'étude, nous procédons par les étapes suivantes:

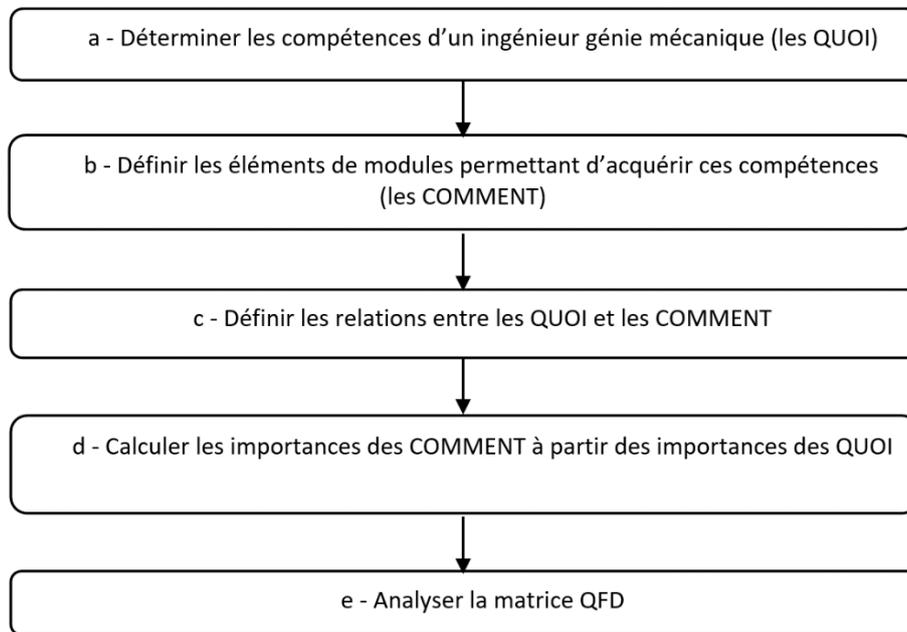


Schéma 1: Démarche de la réalisation de la maison de la qualité

a - Déterminer les compétences d'un ingénieur génie mécanique (les QUOI):

Les compétences d'un ingénieur génie mécanique représentent une formulation standardisée des attentes du client. Dans notre étude, le client est le responsable industriel recruteur du diplômé génie mécanique de l'ENSEM. Ces compétences sont définies à partir du référentiel de compétences du génie mécanique de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne que nous avons choisi, sur la base d'une étude critique préalable, pour l'adapter à la formation du génie mécanique de l'ENSEM [12]. Lors de la conception de la matrice QFD, nous retenons uniquement les compétences jugées moyennement acquises par les responsables industriels et qui sont importantes à très importantes.

b - Déterminer les éléments de modules permettant d'acquérir ces compétences (les COMMENT):

Il s'agit des éléments de module qui constituent les programmes de formation du génie mécanique de l'ENSEM. Ils sont définis à partir des accréditations des différentes filières de ce génie.

c - Définir les relations entre les QUOI et les COMMENT:

Lors de la définition des relations entre les QUOI et les COMMENT, nous tentons à répondre à la question suivante: à quel niveau chaque élément de module contribue à l'acquisition de chaque compétence? Nous avons alors utilisé une pondération 1, 3, 9 pour de faibles, moyennes et fortes relations respectivement. Il est à noter que cette zone de la matrice QFD est remplie en consensus avec les professeurs qui contribuent à la formation du génie mécanique de l'ENSEM ayant accepté de participer à la réalisation de cette étude. Nous nous sommes basés également sur le contenu des accréditations des différentes filières de ce génie.

d - Calculer les importances des COMMENT à partir des importances des QUOI:

Le niveau d'importance de chaque compétence (QUOI) est la moyenne des niveaux d'importance accordés par les responsables industriels de l'étude pour chaque compétence. Le calcul du poids des éléments de module (COMMENT) s'effectue à travers le produit de la pondération affectée à chaque QUOI versus COMMENT avec le poids relatif de chaque compétence.

e - Analyser la matrice:

Le niveau d'importance accordé à chaque élément de module nous permettra de déterminer les éléments de module critiques devant être améliorés. Ces derniers contribuent à l'acquisition des compétences estimées moyennement acquises par les responsables industriels de l'étude chez un ingénieur génie mécanique de l'ENSEM.

4 HÉRARCHISATION DES ÉLÉMENTS DE MODULE

Pour déterminer les éléments de module les plus critiques devant être améliorés, nous décidons d'appliquer la loi Pareto sur le niveau d'importance accordé à chaque élément de module. La loi Pareto vise à mettre en lumière ce qui paraît important et ce qui l'est moins et à introduire une réflexion efficace et performante selon les priorités. Elle consiste à classer dans un ordre décroissant d'importance les critères d'une liste ayant causé un effet (quand la mesure de leur valeur est possible). L'objectif de cette méthode est de garder les critères les plus importants et généralement, 20 % des critères représentent 80 % de l'effet global [13].

Les étapes d'application de la loi Pareto sont les suivantes:

- « Établir la liste des critères à hiérarchiser en mettant en œuvre des outils adaptés.
- Noter la fréquence de chaque critère.
- Classer les critères dans le sens décroissant en fonction de leur fréquence.
- Calculer la fréquence en pourcentage de chaque critère.
- Calculer la somme des fréquences de l'ensemble des critères.
- Calculer la fréquence cumulée des critères.
- Calculer la fréquence en pourcentage cumulée.
- Tracer le graphique. »

5 CONSTRUCTION DE LA MATRICE QFD ET APPLICATION DE LA LOI PARETO

Nous avons construit dans un premier temps la matrice de qualité pour la filière QMSI. Cette matrice décrit en lignes les compétences moyennement acquises par un ingénieur génie mécanique de l'ENSEM récemment diplômé (Quoi) et en colonnes les éléments enseignés permettant d'acquérir différentes compétences (Comment). Les relations entre les Quoi et les Comment ont été établies à travers la contribution du corps professoral interne et le recours aux contenus des accréditations des filières. La matrice de qualité fournit donc des informations essentielles pour identifier les programmes de formation qui doivent être renforcés pour atteindre la satisfaction des exigences des responsables industriels. Elle met en lumière un ensemble de priorités permettant d'acquérir des compétences bien précises selon leur importance pour les industriels et leur importance pour l'équipe des professeurs. Ces priorités auront un impact considérable sur toutes les actions à venir d'amélioration et de mise à jour des programmes de formation.

Nous présentons dans la figure 1 la matrice QFD d'un semestre de spécialité de la filière QMSI comme exemple illustratif.

Ensuite, nous avons appliqué la loi Pareto sur le niveau d'importance de chaque élément de module déterminé dans les matrices QFD. La figure 2 illustre le diagramme Pareto de la filière QMSI.

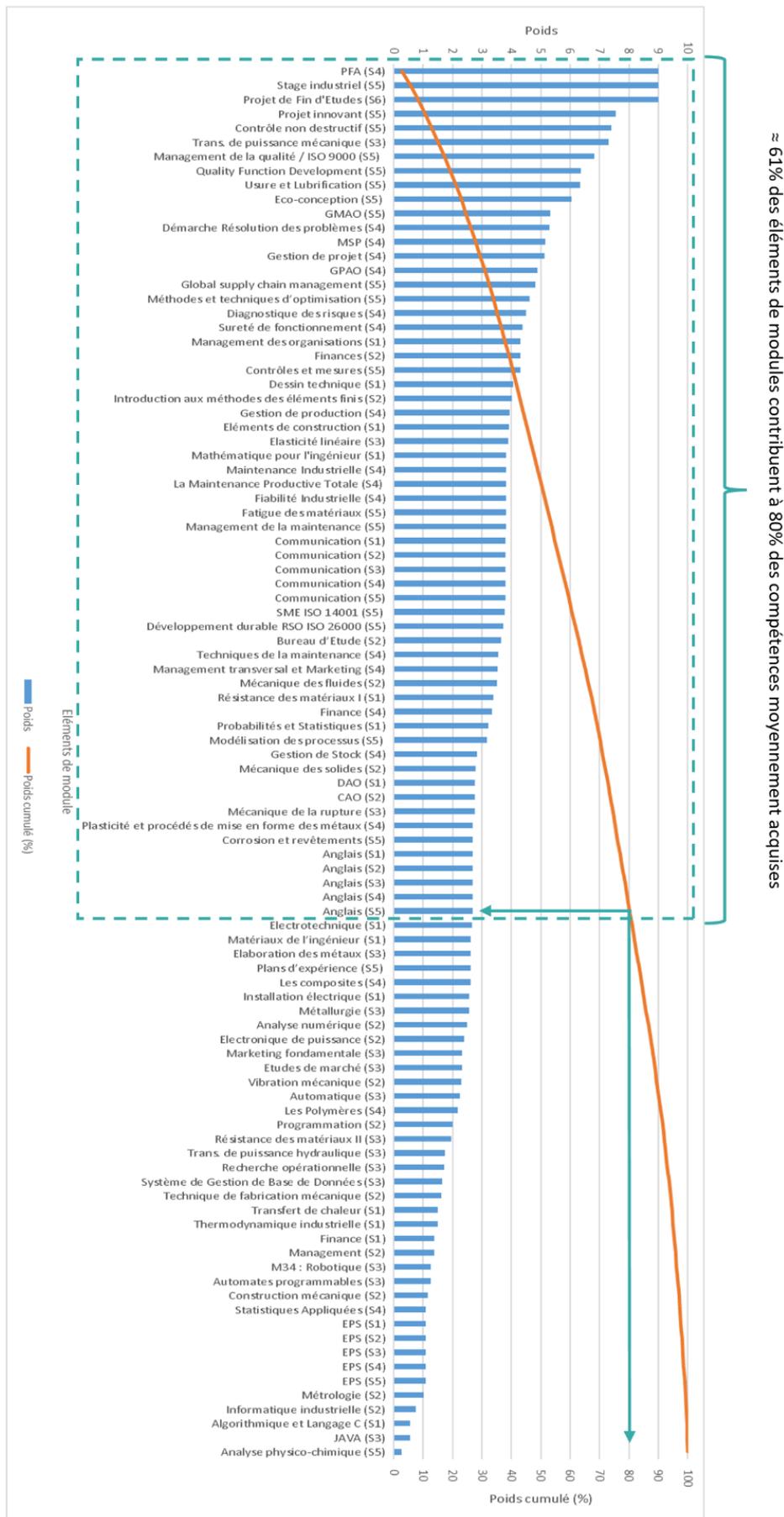


Fig. 2. Diagramme Pareto de la filière QMSI pour les compétences moyennement acquises

A travers l'analyse du diagramme Pareto, nous constatons que 61% des éléments de module enseignés dans la filière QMSI en plus du projet de fin d'études contribuent à 80% des compétences jugées moyennement acquises par les responsables industriels. Ainsi, ces éléments de module présentent certains aspects devant être renforcés à travers de nouvelles situations de formation qui seront développées via des actions d'amélioration. Ils comportent des disciplines de base, des disciplines spécifiques à la spécialité génie mécanique et d'autres transversales.

Le classement des éléments de module nous a permis de remarquer que ceux des semestres de spécialité (S4 et S5) en plus du projet de fin d'études sont en tête de pont vu qu'ils sont nombreux et ont les plus grands poids. Par conséquent, ils contribuent fortement aux différentes compétences moyennement acquises.

En ce qui concerne les disciplines transversales, les modules associant la communication et l'anglais figurant dans les cinq semestres de formation apparaissent parmi les cours prioritaires présentant des aspects à améliorer en plus des cours de finances (S2) et de management des organisations (S1). Nous trouvons également les cours relatifs au Management transversal et Marketing (S4) et les Finances (S4) qui nécessitent certaines actions d'amélioration.

Ces cours participent à l'insertion rapide et efficace des élèves ingénieurs dans le monde socio-économique. La communication efficace à l'oral et à l'écrit permet aux élèves ingénieurs de développer une culture générale, écrire un compte rendu, apprendre à respecter les normes de l'écrit professionnel ou universitaire, travailler en groupe, animer une réunion, mettre en lumière des situations, synthétiser et analyser des expériences, convaincre et négocier; ce sont tous des compétences fondamentales chez un ingénieur. En outre, la formation en langues étrangères, notamment l'anglais devient de plus en plus incontournable vu la mondialisation des échanges. Pour s'insérer dans un environnement professionnel et économique de travail très mouvant, les notions relatives au management et aux finances demeurent aussi indispensables pour les élèves ingénieurs pour en saisir le travail dans ses perspectives financières, économiques et de gestion.

En ce qui concerne les disciplines spécifiques au génie mécanique, les modules et les éléments de module présentant certains points à améliorer sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2. Les modules et les éléments de module de spécialité (QMSI) présentant certains points à améliorer

Modules	Éléments de module
<ul style="list-style-type: none"> • M43: Maintenance; • M44: Organisation et pilotage de la production; • M45: Qualité; • M46: Sécurité et fiabilité industrielle; • M51: Endommagement et revêtement; • M53: Management industriel; • M54: Management de la maintenance (hormis les plans d'expérience); • M55: Management de la qualité; • M56: Environnement et développement durable. 	<ul style="list-style-type: none"> • Projet de fin d'Année (PFA); • Contrôle non destructif; • Contrôles et mesures; • Plasticité et Procédés de mise en forme des métaux.

6 PROPOSITION D' ACTIONS D' AMÉLIORATION

Nous nous sommes référés aux plans d'études de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), de l'école Centrale Paris et de l'Université de Sherbrooke. Ce sont des établissements bien classés à l'échelle mondiale et ont réussi à intégrer l'approche par compétences dans la formation en Sciences de l'Ingénieur. Par conséquent, ils ont pu prendre en considération de façon intégrée toutes les facettes du métier de l'ingénieur pour améliorer l'adéquation formation-emploi. Elles présentent des plans d'études détaillés de leur offre de formation:

En ce qui concerne l'EPFL, le plan d'études du génie mécanique comporte les différents cours enseignés avec le résumé, le contenu détaillé du cours, les mots-clés, les acquis de formation, les compétences transversales, les méthodes d'enseignement et d'évaluation, l'encadrement, les ressources ainsi que les crédits et charge de travail (coefficient du cours, charge de travail totale, session d'examen et forme du contrôle).

En ce qui concerne l'école centrale Paris, elle présente un plan d'études contenant les objectifs du cours, les compétences devant être acquises en fin de cours, son contenu détaillé, l'organisation du cours, le support ainsi que le mode d'évaluation.

Pour l'université de Sherbrooke, elle présente les objectifs généraux et spécifiques de la formation, la structure du programme et ses forces, les cours avec leurs cibles de formation en termes de compétences et leurs contenus.

L'idée principale consistait à réaliser un benchmarking entre ces trois établissements pour montrer la manière dont chacun fait acquérir les différentes compétences à ses étudiants. Or, puisque les filières diffèrent d'un établissement à un autre, il s'est avéré difficile d'effectuer ce benchmarking. Ainsi, nous avons décidé de tirer les pistes d'amélioration à partir des plans d'études de ces établissements de façon transversale tout en restant dans le cadre des spécialités du génie mécanique de l'ENSEM.

Nous proposons les principales actions d'amélioration à implémenter dans la formation du génie mécanique de l'ENSEM, notamment pour les éléments de module critiques qui contribuent intensivement aux compétences moyennement acquises. Nous avons déterminé, à travers le diagramme Pareto réalisé pour la filière QMSI, les éléments de module présentant certains aspects à améliorer. Nous priorisons, dans un premier temps, ceux ayant des poids très importants pour bien initier le chantier d'amélioration de la formation à l'ENSEM.

Le tableau 3 présente les principales actions d'améliorations, les outils de leur mise en place ainsi que les éléments de module critiques concernés par rapport aux 12 compétences moyennement acquises.

Tableau 3. Pistes d'améliorations des compétences moyennement acquises

Compétences moyennement acquises	Actions d'amélioration	Outil de mise en place	Éléments de module QMSI concernés
C2.2. Choisir les outils et les méthodes d'analyse théoriques, numériques et/ou expérimentaux en fonction des objectifs et des ressources	- Amener l'élève ingénieur à : <ul style="list-style-type: none"> • Connaître les différentes technologies d'analyse ; • Comparer entre diverses méthodes d'analyse pour arriver à choisir la meilleure selon les contraintes. 	- Programmer des séminaires - Inclure dans les cours spécifiques aux méthodes d'analyse, les travaux pratiques et les stages en entreprise.	- Projet de Fin d'Année (PFA) - Stage industriel - Projet de Fin d'Etudes (PFE) - Projet innovant - Contrôle non destructif - Transmission de puissance mécanique
C2.3. Analyser une situation complexe, dynamique et incertaine : modéliser, simuler et caractériser expérimentalement	- Apprendre aux élèves ingénieurs à effectuer les synthèses avec des cartes conceptuelles pour ordonner et analyser les informations d'une situation problème. - Viser des niveaux d'approfondissement élevés d'apprentissage des méthodes de modélisation et de simulation du comportement de structures complexes et non linéaires à travers des outils numériques. - Amener l'élève-ingénieur à modéliser et simuler des situations complexes. - Intégrer le principe de la rétro-ingénierie.	- A prendre en compte dans les cours de modélisation et de simulation - Prendre en considération dans les Projets de conception et de réalisation	- Management de la qualité / ISO 9000 - Usure et lubrification - Eco-conception - GMAO - Démarche Résolution des problèmes - MSP - Gestion de projet - Quality Function Deployment
C2.4. Interpréter et présenter les résultats de l'analyse et de la modélisation	- Amener l'élève-ingénieur à préparer et à présenter des rapports d'analyse.	- A exiger dans les rapports et les présentations des Travaux Pratiques et des projets	
C4.3. Travailler en collaboration et gérer une équipe	- Permettre à l'élève-ingénieur de : <ul style="list-style-type: none"> • participer à des activités avec divers rôles. • tester et connaître clairement les processus qui se développent dans une équipe de travail (décision, organisation, etc.) • analyser sa participation au groupe de travail 	- Prendre en considération dans les Projets - Inclure les Jeux d'entreprise	
C5.5. Se développer professionnellement	- Amener l'élève-ingénieur à découvrir les compétences clés de l'ingénieur, à construire un projet de formation et professionnel et à passer d'un référentiel scolaire à un référentiel professionnel.	- Programmer des ateliers de développement professionnel et leadership supervisés par des professeurs, et avec le soutien d'intervenants externes en se basant sur l'expérience, la mise en situation, l'étude de cas...	
C1.3. Mobiliser et partager ses connaissances fondamentales de l'ingénierie	- Faire de sorte que les cours comprenant les sciences fondamentales de l'ingénierie doivent être formateur au niveau intellectuel et exigeant au niveau de la maîtrise des savoirs pour atteindre des niveaux supérieurs de la taxonomie de Bloom (Synthétiser et évaluer).	- A prendre en considération dans les cours des sciences de base de l'ingénieur	- Projet de Fin d'Année (PFA) - Stage industriel - Projet de Fin d'Etudes (PFE) - Projet innovant - Contrôle non destructif

<p>C1.4. Comprendre son environnement professionnel, technologique, écologique et économique pour agir</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Poursuivre l'amélioration au niveau de la structure des stages pour proposer un plus grand nombre de lieux de stages et travailler à la visibilité auprès des employeurs. - Sensibiliser les étudiants à l'importance des stages dès la première année par rapport à leur formation et leur employabilité. Encourager les démarches personnelles de l'étudiant dans sa recherche de lieux de stages. - Permettre aux étudiants d'accroître les expériences et les contacts avec le milieu professionnel. 	<ul style="list-style-type: none"> - Programmer des séances de sensibilisation sur l'importance et l'intérêt des stages et des visites d'entreprise - Stages - Proposer des projets de terrain - Planifier des visites ou des participations à des activités dans le domaine - Organiser fréquemment des conférences par des experts/professionnels 	<ul style="list-style-type: none"> - Transmission de puissance mécanique - Management de la qualité / ISO 9000 - Usure et lubrification - Eco-conception - GMAO - Démarche Résolution des problèmes - MSP - Gestion de projet - Quality Function Deployment 	
<p>C5.3. Être capable d'avoir un esprit critique</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Former les élèves ingénieurs à la mise en œuvre d'une approche scientifique et expérimentale tout en effectuant une analyse critique des résultats qui comporte : la discussion de leur utilité et précision de manière à guider leur utilisation et leur interprétation ; quelles méthodes complémentaires utiliser et comparer à ces résultats. 	<ul style="list-style-type: none"> - Adopter l'enseignement par problèmes dans les cours contribuant à l'acquisition de cette compétence. 		
<p>C3.2. Créer des solutions innovantes, efficaces et durables</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre les élèves-ingénieurs en situation d'innover à travers la conception de services, solutions ou produits nouveaux pour mieux servir des clients, des organisations et/ou la société. Amener l'élève ingénieur à : 	<ul style="list-style-type: none"> - Programmer l'élément de module « Projet innovant » pour toutes les filières du génie mécanique (au lieu de se limiter uniquement à la filière QMSI) - Programmer des conférences animées par des experts 	<ul style="list-style-type: none"> - Management de la qualité/ISO 9000 	<ul style="list-style-type: none"> - PFA - PFE - Stage industriel - Projet innovant - Contrôle non destructif
<p>C4.2. Gérer des Projets</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Opter pour une posture et une démarche d'innovateur faite d'ambition et d'ouverture, notamment développer les dimensions scientifiques, techniques, économiques et sociales d'un projet et suggérer un travail d'exploitation des connaissances et d'exploration des possibles. * Travailler en mode projet, autrement dit, produire en équipe un résultat tangible pour répondre aux exigences d'un client en adoptant une démarche structurée et rationnelle de résolution de problèmes et de gestion de projet (Expression du problème sous forme d'un « contrat » avec un « client » - Conception d'un processus structuré de résolution de problème – Respect de bonnes attitudes et de comportements) - Programmer des exposés de projets complexes avec les difficultés et limites des concepts et méthodes classiques, tant sur le plan théorique qu'applicatif. 		<ul style="list-style-type: none"> - MSP - Gestion de projet 	<ul style="list-style-type: none"> - Transmission de puissance mécanique - Usure et lubrification - Eco-conception - GMAO - Démarche Résolution des problèmes - QFD
<p>C3.5. Mettre en œuvre la solution choisie</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Offrir aux élèves ingénieurs des expériences pratiques qui les entraînent à analyser des situations complexes, à concrétiser des décisions prises et donc à mettre en œuvre une solution conçue. - Pousser l'élève ingénieur à mettre en place les solutions qu'il développe au lieu de se contenter des propositions de solutions. - Les projets doivent être orientés «réalisation» et non seulement «étude». 	<ul style="list-style-type: none"> - Intégrer la simulation pour la mise en œuvre des solutions - Prendre en compte dans les Projets et les Projets de fin d'études 	<ul style="list-style-type: none"> - Transmission de puissance mécanique - GMAO - Gestion de projet 	<ul style="list-style-type: none"> - Projet de Fin d'Année (PFA) - Stage industriel - Projet de Fin d'Etudes (PFE) - Management de la qualité / ISO 9000 - Quality Function Deployment
<p>C1.2. Communiquer efficacement oralement et par écrit (en français, anglais, ...)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Amener l'étudiant à présenter et expliciter des phénomènes et des concepts du génie mécanique, analyser, préparer et défendre des argumentations. - Encourager l'étudiant à lire et présenter des articles scientifiques ou des articles de revues professionnelles et à participer activement à des réunions de projet. 	<ul style="list-style-type: none"> - Programmer des séminaires et multiplier les exposés oraux 	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle non destructif - Démarche de résolution des problèmes 	

Nous avons présenté des actions d'améliorations par compétence ainsi que leurs moyens de mise place (des projets, des séminaires, des ateliers, des conférences, ...). Chaque action d'amélioration concerne plusieurs éléments de module qui contribuent à l'acquisition de la même compétence.

Les propositions d'amélioration suggérées sont des situations de formation qui font appel à certaines méthodes pédagogiques à savoir:

- L'étude de cas: c'est une analyse d'une situation complexe reposant sur un cas réel. Après avoir analysé la situation, l'étudiant entame des actions afin de trouver la solution au problème. Elle permet d'entamer réellement des situations complexes dont la présentation théorique risquerait d'être longue. Elle encourage la motivation et l'implication et entraîne à la prise de décision, au travail collectif et au développement des savoir-être [14].
- La carte conceptuelle permet de « représenter graphiquement des concepts qui gravitent autour d'un sujet, de préciser les relations qui les unissent et de les hiérarchiser. Aussi appelée schéma de concepts, carte de connaissances ou réseau sémantique, la carte conceptuelle permet de développer des habiletés de synthèse et permet à l'étudiant d'illustrer visuellement sa compréhension d'une question ou d'un concept... On utilise la carte conceptuelle pour:
 - Activer les connaissances antérieures des étudiants.
 - Structurer les connaissances en cours d'enseignement.
 - Planifier la rédaction d'un travail ou d'une présentation orale.
 - Vérifier l'intégration des notions abordées dans l'ensemble d'un cours.
 - Valider la compréhension d'un texte, d'une conférence, etc. »
- La simulation est définie comme «une reproduction d'une situation constituant un modèle simplifié mais juste d'une réalité» [15]. Cet outil pédagogique a pour objectif de reconstituer en classe une situation représentant la réalité de façon objective et à laquelle l'étudiant pourrait être confronté. La simulation permet aux étudiants d'exercer leurs savoir-faire et leurs apprentissages au sein d'un environnement plus encadré par des règles que dans une situation réelle [16], [17].
- Les jeux d'entreprise sont des simulations de la vie de plusieurs entreprises en concurrence sur un même marché. Ils permettent aux étudiants d'assumer des responsabilités d'activités dans une entreprise dont le fonctionnement est imité d'une manière proche à la réalité. Ils ont comme objectifs de faire découvrir l'interdépendance des activités et des compétences, les concepts et les lois de fonctionnement d'une entreprise ou d'une organisation de travail [14].

A titre d'exemple, « une unité de jeu peut être constituée de 5 ou 6 équipes de 5 ou 6 joueurs (élèves ingénieurs) chacune. Chaque joueur prend une responsabilité particulière: production, finances, ressources humaines, marketing, direction générale. Deux types d'enseignants sont responsables de ces jeux d'entreprise: les animateurs en charge des sessions de jeu et les coachs en charge des sessions de discussions et débriefings. »

7 CONCLUSION

Ce travail présente la méthode QFD et son déploiement dans le domaine de la formation. Il décrit la démarche de réalisation de la matrice QFD pour la formation du génie mécanique de l'ENSEM. Il propose une hiérarchisation des éléments découlant de la matrice de qualité QFD par la loi Pareto et il expose les résultats concernant la filière QMSI. Finalement, des actions d'améliorations à mettre en œuvre sont proposées pour une meilleure adéquation formation emploi.

La prochaine étape est d'étendre cette démarche sur les autres filières du génie mécanique et aux autres départements de l'ENSEM ainsi qu'implanter les différents plans d'actions proposés.

Toutefois, nous visons également de réaliser un rapprochement entre les constats des industriels qui jugent certaines compétences moyennement acquises et les professeurs qui estiment contribuer convenablement à l'acquisition de ces compétences. S'agit-il d'un problème au niveau de l'évaluation des compétences ?

REMERCIEMENTS

Nous remercions infiniment tous les professeurs du département du génie mécanique de l'ENSEM, notamment le chef de département, pour leur contribution dans cette étude et pour leur permission d'exploitation des documents nécessaires à la réalisation de ce travail.

REFERENCES

- [1] Csizmadia, P., and Veroszta, Z. (2018). Facteurs déterminants de l'adéquation des compétences à l'emploi chez les jeunes ingénieurs hongrois. In: D. Lemaître, Formation des ingénieurs à l'innovation, Great Britain: ISTE, pp. 135-153, 2018.
- [2] L. Gardelle, E. Cardona Gil, M. Benguerna, A. Bolat and B. Naran, "The spread of European models of engineering education: the challenges faced in emerging countries," *European Journal of Engineering Education*, vol. 42, no. 2, pp. 203-218, 2017, doi: 10.1080/03043797.2016.1241983.
- [3] N. Deschryver, B. Charlier, J-M. Fürbringer and R. Glardon, "Projet de développement des plans d'étude de BA et MA à la section de génie mécanique de l'EPFL," Conference presented at the Conference of the News of research in education and training, Genève, 2010, [Online] Available: <https://plone.unige.ch/aref2010/communications-oraales/premiers-auteurs-en-d/Projet%20de%20developpement.pdf/view>.
- [4] Z. Ait haddouchane, S. Ajana, I. Zergout, K. Faraj and S. Bakkali, "A Study of the Adequacy of Training in Mechanical Engineering in Relation to Business Profiles," *International Journal of Higher Education*, vol. 7, no. 6, pp. 173-190, 2018.
- [5] Y. Akao, QFD – Prendre en compte les besoins du client dans la conception du produit, AFNOR (traduction), 1993.
- [6] F. Gautier, « Gestion simultanée des coûts et de la qualité en conception: apports et limites du QFD, ». Journées d'étude en contrôle de gestion de Nantes, Université de Nantes, Nantes, 2009, [Online] Available: <http://www.univ-nantes.fr/iemn-iae/recherche/jecgn>.
- [7] D. Duret and M. Pillet, *Qualité en production: De l'ISO 9000 à Six Sigma*, Paris: Eyrolles Editions d'Organisation, 2005.
- [8] M. I. Qureshi, K. Khan, M. N. Bhatti, A. Khan, and K. Zaman, "Quality Function Deployment in Higher Education Institutes of Pakistan," *Middle East Journal of Scientific Research*, vol. 12, no. 8, pp. 1111–18, 2012, [Online] Available: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84874122807&partnerID=40&md5=9cbf150c8f9ce9445eef008761d2d4ae>.
- [9] S. H. Chen and C. C. Yang, "Applications of web-QFD and E-Delphi method in the higher education system," *Human Systems Management*, no. 23, pp. 245–256, 2004.
- [10] S. O. Duffuaa et al., "Quality function deployment for designing a basic statistics course," *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 20, no. 6, pp. 740–750, 2003.
- [11] P. Brackin, "Assessing engineering education: an industrial analogy," *International Journal of Engineering Education*, vol. 18, no. 2, pp. 151–156, 2002.
- [12] Z. Ait haddouchane, K. Faraj, S. Bakkali and S. Ajana, « Etude critique des référentiels de compétences du génie mécanique, » *The Journal of Quality in Education*, no. 7, pp. 48-59, 2016.
- [13] J.M. Gallaire, *Les outils de la performance industrielle*, Paris: Eyrolles Editions d'Organisation, 2008.
- [14] Démarches, *Méthodes et techniques pédagogiques*, 2013. [Online] Available: <https://www.aef-dmoz.org/demarche-2.pdf>.
- [15] G. Chamberland, L. Lavoie and D. Marquis, *20 formules pédagogiques*, Sainte-foy: Les Presses de L'Université du Québec, 2000.
- [16] J.P. Hertel and B.J. Millis, *Using simulations to promote learning in higher education: an introduction*, Sterling, Va.: Stylus Publishers, 2002.
- [17] G. Chamberland and G. Provost, *Jeu, simulation et jeu de rôle*, Sainte-foy: Les Presses de l'Université du Québec, 1996.