



N° d'ordre...23/2015..

THESE DE DOCTORAT

Présentée par

Mr : Youness FARHANE

Spécialité : Génie Industriel

Sujet de la thèse

**CONTRIBUTION À L'INTEGRATION DE L'ECO-CONCEPTION DANS L'INDUSTRIE
MAROCAINE :Aspects organisationnel et technique.**

Thèse présentée et soutenue le 19 Décembre 2015, devant le jury composé de :

| Nom et Prénom | Titre | Etablissement | |
|---------------|----------------------|------------------|--------------------|
| A. MOUCHTACHI | Professeur/Directeur | ENSAM-Casablanca | Président du jury |
| B. ELKIHHEL | Professeur - PES | ENSA-Oujda | Rapporteur |
| A. ELKHALFI | Professeur - PES | FST-Fès | Rapporteur |
| M. CHERGUI | Professeur - PES | ENSEM-Casablanca | Rapporteur |
| A. SAFOUANE | Professeur - PES | UEM/INSA-Fès | Examineur |
| M. REDOUANI | Professeur - PH | ENSAM-Meknès | Examineur |
| A ELBARKANY | Professeur - PH | FST-Fès | Examineur |
| D. AMEGOUZ | Professeur - PES | EST-Fès | Directeur de thèse |

Laboratoire d'accueil : Génie Productique, Energies et Développement Durable

Etablissement : Ecole Supérieure de Technologie de Fès





Résumé de la thèse

Le respect de l'environnement devient de plus en plus une contrainte que doivent respecter les entreprises au monde entier, de sa part le Maroc a adopté une politique nationale de développement durable ces dernières années. Notre travail consiste à faire un diagnostic de l'état actuel du respect de l'environnement des entreprises au Maroc surtout lors de la production et plus précisément lors de la conception, c'est ce que l'on appelle l'éco-conception.

La problématique de l'intégration de l'éco-conception dans les entreprises trouve son origine, d'une part dans un déficit culturel environnemental, d'autre part dans le fait que, les outils d'éco-conception ayant été développés en dehors du monde industriel, les aspects organisationnels de l'intégration n'ont pas été considérés. Nous avons essayé de présenter les outils existants et on a simplifié la notion de l'éco-conception pour encourager les industriels à l'intégrer dans leur processus de production, vu que les outils existants sont disponibles et simple à exploiter nous nous étions intéressé à présenter l'aspect organisationnel de l'éco-conception. D'autre part on a mené une étude de cas réel concerne l'intégration de l'éco-conception dans l'industrie artisanale plus précisément le secteur du Zellige en minimisant la découpe des formes primitives.

Mots clés : *Développement Durable, éco-conception, Industrie Artisanale, PLM, CAO, minimisation.*

Table des matières

| | |
|--|----|
| Liste des acronymes | 7 |
| Liste des figures et des tableaux :..... | 8 |
| Remerciements | 11 |
| Résumé | 12 |
| Abstract | 13 |
| Introduction générale : | 14 |
| Chapitre N° 1 : Etat de l'Art..... | 17 |
| 1 Introduction..... | 18 |
| 2 Etat de l'Art : | 19 |
| 2.1. Développement durable :..... | 19 |
| 2.1.1. Définition du développement durable : | 19 |
| 2.1.2. Les principaux concepts du développement durable :..... | 20 |
| 2.1.3. Quelques grands repères :..... | 26 |
| 2.1.4. Développement Durable au Maroc :..... | 27 |
| 2.1.5. Pourquoi s'intéresser au produit ?..... | 28 |
| 2.2. L'éco-conception :..... | 29 |
| 2.2.1. Introduction à l'éco-conception :..... | 29 |
| 2.2.2. Avantages de l'éco-conception : | 31 |
| 2.2.3. L'éco-conception en Europe | 40 |
| 2.2.4. Les approches d'éco-conception..... | 43 |
| 2.3. L'industrie artisanale au Maroc :..... | 46 |
| 2.3.1. Problèmes dans l'industrie artisanale :..... | 46 |
| 2.3.1.1. Environnement : | 46 |
| 2.3.1.2. Matière première et énergie :..... | 46 |
| 2.3.1.3. La main d'œuvre : | 47 |
| 2.3.2. Actions d'amélioration :..... | 48 |
| 2.3.2.1. Aspects techniques : | 48 |
| 2.3.2.2. Aspects organisationnels : | 48 |
| 3 Conclusion | 49 |
| Chapitre N° 2 : Ingénierie Numérique et éco-conception | 50 |
| 1 Introduction..... | 51 |
| 2 Le cycle de vie produit..... | 52 |
| 2.1. Généralités :..... | 52 |
| 2.2. Les phases du cycle de vie..... | 53 |

| | | |
|--|--|----|
| 2.2.1. | Les phases du cycle de vie en pré-production | 53 |
| 2.2.2. | Les phases du cycle de vie en post-production : la vision marché | 53 |
| 2.3. | Intérêt de l'analyse du cycle de vie : | 56 |
| 2.4. | Modèle de référence du cycle de vie produit..... | 57 |
| 3 | Ingénierie Numérique et cycle de vie produit :..... | 60 |
| 3.1. | Impacts de l'ingénierie numérique sur le processus de conception..... | 60 |
| 3.2. | Impacts de l'Ingénierie Numérique sur le processus de mise en service/distribution | 61 |
| 3.3. | Impact de l'Ingénierie Numérique sur le processus d'entretien/maintenance | 62 |
| 3.4. | Outils technologiques dans le cycle de vie produit | 62 |
| 4 | Les principaux outils d'ingénierie numérique | 63 |
| 4.1. | La CAO : | 63 |
| 4.1.1. | Le rôle de la CAO : | 64 |
| 4.1.2. | Le périmètre de la CAO | 64 |
| 4.2. | Le PLM..... | 64 |
| 4.2.1. | Périmètre d'action du PLM | 65 |
| 4.2.2. | Le rôle du PLM | 66 |
| 5 | Intégration des OIN dans le processus d'EC : | 68 |
| 5.1. | Quelques tentatives d'intégration..... | 68 |
| 5.2. | Matrice de recouvrement des données | 69 |
| 5.3. | Le concept d'interopérabilité | 72 |
| 5.3.1. | Standard d'échange de données dans le domaine PLM..... | 73 |
| 5.3.2. | Les standard d'échange de données dans le domaine ACV..... | 74 |
| 5.4. | Interopérabilité OEC-OIN : Opportunités et Challenges | 75 |
| 6 | Conclusion | 77 |
| Chapitre N° 3 : Contribution à l'intégration de l'éco-conception au Maroc..... | | 78 |
| 1 | Introduction..... | 79 |
| 2 | Contexte de l'étude : | 80 |
| 2.1. | Objectifs de l'étude : | 80 |
| 2.2. | Comparaison avec les entreprises Européennes :..... | 81 |
| 2.2.1. | L'environnement dans l'industrie en Europe : | 81 |
| 2.2.2. | Cas des PME : | 81 |
| 2.3. | Intégration de l'environnement dans le processus conception | 82 |
| 2.3.1. | Complexité de la contrainte « environnement » :..... | 83 |
| 2.3.2. | Processus d'éco-conception | 84 |

| | | |
|---|---|-----|
| 2.4. | Cadre de l'étude : | 95 |
| 3 | Résultats et interprétations : | 97 |
| 3.1. | Leviers et bénéfices : | 97 |
| 3.2. | Barrières et freins : | 99 |
| 4 | Un nécessaire changement organisationnel : | 102 |
| 4.1. | Précisions sur la notion d'intégration | 102 |
| 4.2. | Implications de l'intégration de l'éco-conception | 103 |
| 4.2.1. | Changements induits aux différents niveaux de l'entreprise | 104 |
| 4.2.2. | Conséquences pour l'organisation | 112 |
| 4.2.3. | Les problèmes posés par la gestion du changement | 115 |
| 4.2.4. | Gestion du changement | 117 |
| 5 | Apprentissage organisationnel | 118 |
| 5.1. | Les connaissances et les compétences | 118 |
| 5.1.1. | Les connaissances : | 118 |
| 5.1.2. | Les compétences | 120 |
| 5.2. | La création de connaissances | 121 |
| 6 | Conclusion | 124 |
| Chapitre N° 4 : Optimisation de la découpe, premier pas vers l'éco-conception | | 125 |
| 1 | Introduction | 126 |
| 2 | Formulation des problèmes de placement | 127 |
| 2.1. | Définition des problèmes de placement : | 129 |
| 2.2. | Vocabulaire des problèmes de placement : | 129 |
| 2.3. | Caractéristiques des problèmes de placement : | 130 |
| 3 | Problèmes de découpe | 132 |
| 3.1. | Définition des problèmes de découpe : | 132 |
| 3.2. | Typologies des problèmes de découpe : | 133 |
| 4 | Méthodes proposées pour la résolution des problèmes de découpe : | 134 |
| 4.1. | Méthode heuristique : | 135 |
| 4.1.1. | Placement des objets, rectangles minimaux et surfaces maximales : | 135 |
| 4.1.2. | Les positionnements stables : | 140 |
| 4.1.3. | L'heuristique des rectangles maximaux | 141 |
| 4.2. | Méthode méta-heuristique : | 144 |
| 4.2.1. | Représentation géométrique et détection de collisions | 145 |
| 4.2.2. | Principe de l'algorithme d'optimisation | 146 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 4.2.3. | Respect des contraintes pour éviter les collisions : | 147 |
| 4.2.4. | Algorithmes d'optimisation : | 153 |
| 5 | Etude de cas : | 157 |
| 5.1. | Solution proposée | 159 |
| 5.1.1. | Extraction des contours | 159 |
| 5.1.2. | Construction de motifs | 161 |
| 5.1.3. | Les formes primitives : | 166 |
| 5.1.4. | Regroupement de formes primitives par angles : | 167 |
| 5.1.5. | Regroupement de formes primitives par cotes : | 169 |
| 5.1.6. | Quelques combinaisons entre formes primitives | 172 |
| 5.1.7. | La couleur premier critère de choix entre formes primitives | 173 |
| 5.2. | Usinage des formes primitives : | 173 |
| 5.2.1. | Placement et définition des trajectoires : | 174 |
| 5.2.2. | Découpe : | 175 |
| 6 | Conclusion | 177 |
| | Conclusion générale : | 178 |
| | Bibliographie | 182 |
| | Annexes | 187 |
| | Annexe 1 : Brainstorming | 188 |
| | Annexe 2 : Questionnaire | 190 |
| | Annexe 3 : les différents angles des formes primitives | 192 |
| | Annexe 4 : les différentes cotes des formes primitives | 193 |
| | Annexe 5 : Quelques combinaisons entre formes primitives | 194 |