



Fès, le 23/ 12/2013

N° d'ordre 02/2014

THESE DE DOCTORAT

Présentée par

Mlle : Bouchra RZINE

Spécialité : Génie Mécanique

Sujet de la thèse :

Modélisation et simulation du comportement dynamique des systèmes multicorps mécatroniques en présence des défauts.

Thèse présentée et soutenue le Samedi 18 Janvier 2014 devant le jury composé de

Nom Prénom	Titre	Etablissement	
Taoufik OUAZZANI CHAHDI	PES	Ecole Nationale des Sciences Appliquées de Fès	Président
Abdellatif EL MARJANI	PES	Ecole Mohammadia d'Ingénieurs de Rabat	Rapporteur
Badr BOUOULID IDRISSE	PES	Ecole Nationale d'Arts et Métiers de Meknès	Rapporteur
Mohammed EL HAMMOUMI	PES	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Rapporteur
Mohamed RADOUANI	PES	Ecole Nationale d'Arts et Métiers de Meknès	Examinateur
Abdelmjid SAKA	PES	Ecole Nationale des Sciences Appliquées de Fès	Directeur de thèse

Laboratoire d'accueil : Mécanique

Etablissement : FST de Fès





Résumé de la thèse

Le travail de recherche présenté dans ce mémoire porte sur l'étude de la dynamique des systèmes mécatroniques et des interactions entre ses sous-systèmes en présence de défauts dus aux dispersions de certains paramètres du système. Une approche multiphysique, utilisant le formalisme unifié de Lagrange basé sur les théories équationnelles, a été adoptée au niveau de la modélisation pour remédier au problème de l'hétérogénéité des domaines physiques.

Concernant l'implémentation, des stratégies basées sur les diagrammes blocs ont été développées. L'environnement Matlab/Simulink constitue l'outil de base utilisé pour le développement des différentes simulations menées dans ce mémoire.

Dans ce travail de recherche, des modèles du système composé d'un mécanisme quadrilatère et d'un convertisseur électromécanique ont été développés en tenant compte de différents types de défauts. Au niveau du sous-système mécanique, les jeux et la flexibilité sont les deux principaux aspects considérés alors qu'au niveau du sous-système électrique, le défaut pris en considération étant l'excentricité.

Deux séries d'étude ont été menées : dans la première série, nous avons considéré un système constitué d'un mécanisme quadrilatère plan portant des défauts entraîné par un moteur à courant continu idéal. Différentes simulations ont été menées pour montrer les effets des jeux, de la flexibilité et de la flexibilité et de jeu simultanément en analysant le courant et la direction du jeu. Quant à la deuxième série dont l'objet est l'étude des effets de l'excentricité, nous avons considéré un mécanisme quadrilatère plan parfait mené par un moteur asynchrone triphasé excentré statiquement. Les paramètres étudiés dans ce cas étaient la vitesse de rotation de la manivelle, le couple électromagnétique et les courants statoriques et rotoriques.

Mots clés : Modélisation multiphysique, principe des travaux virtuels, formalisme de Lagrange, Simulink/ Matlab, comportement dynamique, mécatronique, jeu mécanique, flexibilité, excentricité, système multicorps, quadrilatère, moteur électrique.....

Table des matières

TABLE DES MATIERES	I
LISTE DES FIGURES	VII
LISTE DES TABLEAUX	X
LISTE DES SYMBOLES	XI
REMERCIEMENTS	XVI
RESUME	XVIII
ABSTRACT	XIX
OBJECTIFS ET MOTIVATIONS	1
1. PRINCIPES DE MODELISATION ET DE SIMULATION	8
1.1. CONTEXTE GENERAL DE LA MODELISATION MULTI-PHYSIQUE	8
1.2. TECHNIQUES ACTUELLES DE MODELISATION MULTI-PHYSIQUES ..	14
1.2.1. Théories unifiées	16
1.2.1.1. Approche des graphes linéaires	17
1.2.1.2. Approche Bond graphe	18
1.2.1.3. Approche équationnelle	19
1.2.2. Langages de modélisation	20
1.3. CONCLUSIONS	22
2. DEFINITIONS, CONCEPTS ET NOTATIONS	24
2.1. INTRODUCTION	24
2.2. SYSTEMES MULTI-CORPS	24

2.2.1. Concepts fondamentaux	24
2.2.2. Cinématique	26
2.2.3. Corps	30
2.2.4. Liaisons cinématiques	33
2.2.5. Eléments de force	34
2.2.6. Dynamique	34
2.3. CIRCUITS ELECTRIQUES	37
2.3.1. Concepts fondamentaux	37
2.3.2. Variables and notations	38
2.3.3. Equations de comportement et caractéristiques dynamiques	40
2.3.4. Equations de Kirchhoff	43
3. PRINCIPE DES TRAVAUX VIRTUELS	46
3.1. FORMALISME DE TRAVAUX VIRTUELS POUR LES SYSTEMES MULTI-CORPS	47
3.1.1. Déplacements virtuels	49
3.1.2. Equation de Lagrange pour les systèmes multi-corps arborescents	53
3.1.3. Equations de Lagrange pour les systèmes multi-corps à boucles fermées	61
3.2. TRAVAIL VIRTUEL POUR LES SYSTEMES ELECTRIQUES	65
3.2.1. Travail virtuel pour les circuits électriques	70
3.2.2. Equations dynamiques des systèmes électriques	70
3.2.3. Coordonnées généralisées	71
3.2.4. Equations de Lagrange	72
3.2.5. Considération des contraintes	77

3.3. TRAVAIL VIRTUEL POUR LES SYSTEMES MECATRONIQUES.....	78
4. MODELISATION DYNAMIQUE DES SYSTEMES MULTICORPS PORTANT DES DEFAUTS	81
4.1. INTRODUCTION.....	81
4.2. ETAT D'ART	82
4.3. MODELISATION MATHEMATIQUE DES MECANISMES QUADRILATERES AVEC JEUX	85
4.3.1. Etude cinématique	86
4.3.1.1. Modèle du jeu	86
4.3.1.2. Position des barres	87
4.3.1.3. Vitesse angulaire et linéaire des barres	89
4.3.1.4. Accélérations angulaire et linéaire des barres.....	91
4.3.2. Etude dynamique	96
4.3.2.1. Formulation Lagrangienne.....	96
4.3.2.2. Equations de mouvement.....	96
4.4. MODELISATION MATHEMATIQUE DES MECANISMES QUADRILATERES FLEXIBLES.....	98
4.4.1. Approche adoptée	98
4.4.2. Equations dynamiques du mécanisme quadrilatère flexible.....	100
4.4.3. Equations dynamiques	103
4.5. MODELISATION MATHEMATIQUE SIMULTANEE DES JEUX ET DE LA FLEXIBILITE DES CORPS.....	105
4.6. CONCLUSION	107
5. MODELISATION DU SYSTEME ELECTRIQUE EXCENTRE	108
5.1. INTRODUCTION.....	108

5.2. DEFAUTS DANS LES MACHINES ELECTRIQUES	109
5.2.1. Défauts Statoriques	109
5.2.1.1. Défaut de la culasse	110
5.2.2. Défauts rotoriques	111
5.2.2.1. Excentricité.....	112
5.3. MODELISATION MATHEMATIQUE DE L'EXCENTRICITE.....	113
5.4. MODELE ELECTROMAGNETIQUE DU MOTEUR ELECTRIQUE PARFAIT	114
5.5. MODELE ELECTROMAGNETIQUE DU MOTEUR ELECTRIQUE IMPARFAIT.....	118
5.5.1. Inductances statoriques d'une machine excentrée	118
5.5.2. Inductances rotoriques d'une machine excentrée	119
5.5.3. Inductances mutuelles entre le stator et le rotor d'une machine excentrée...	119
5.6. CONCLUSION	120
6. IMPACT DU COUPLAGE DU SYSTEME MECANIQUE PORTANT DEFAUTS ET SYSTEME ELECTRIQUE PARFAIT.....	121
6.1. ETAT D'ART	121
6.2. EFFET DES JEUX	123
6.2.1. Modèle du système mécanique	123
6.2.1.1. Etude cinématique	124
6.2.1.1.1. Positions	124
6.2.1.1.2. Vitesses angulaires et linéaires	125
6.2.1.1.3. Accéléractions linéaires et angulaires.....	127
6.2.1.2. Etude dynamique	129

6.2.2. Modèle du moteur-mécanisme mené.....	132
6.2.2.1. Modèle du moteur menant	132
6.2.2.2. Modèle du système moteur-mécanisme	134
6.2.3. Résultats de simulation et interprétation	136
6.2.3.1. 1 ^{er} cas : Système mécatronique parfait.....	137
6.2.3.2. 2 ^{ème} cas : Système mécatronique avec différentes tailles du jeu ...	138
6.3. EFFET DE LA FLEXIBILITE ET DES JEUX MECANIQUES	142
6.3.1. Modèle du système Moteur_Mécanisme quadrilatère flexible.....	142
6.3.2. Modèle du système Moteur_Mécanisme quadrilatère flexible avec jeu	144
6.3.3. Résultats de simulation et discussion	146
6.3.3.1. Quadrilatère mécatronique flexible.....	147
6.3.3.2. Mécanisme flexible à quatre barres avec jeu	148
6.4. CONCLUSION	151
7. IMPACT DU COUPLAGE DU SYSTEME MECANIQUE PARFAIT ET SYSTEME ELECTRIQUE PORTANT DES DEFAUTS	154
7.1. INTRODUCTION.....	154
7.2. MODELE DU SYSTEME MECANIQUE	154
7.2.1. Etude cinématique	155
7.2.1.1. Positions.....	155
7.2.1.2. Vitesses angulaires et linéaires	157
7.2.1.3. Accélérations linéaires et angulaires.....	158
7.2.2. Etude dynamique	159
7.3. MODELE DU MOTEUR-MECANISME MENE.....	161

7.3.1. Equations dynamiques du moteur	161
7.3.2. Modèle du système moteur-mécanisme	166
7.4. RESULTATS DE SIMULATION ET INTERPRETATIONS	169
7.4.1. 1 ^{er} cas : Système mécatronique parfait	170
7.4.2. 2 ^{ème} cas : Système mécatronique avec différents degrés d'excentricité	170
7.5. CONCLUSION	174
8. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	175
ANNEXES.....	179
ANNEXE A : ENVIRONNEMENT SIMULINK.....	179
A.1. INTRODUCTION	179
A.2. MODELISATION ET SIMULATION DES SYSTEMES PAR SIMULINK	180
A.3. CHOIX D'UN SOLVEUR	181
A.4. EXEMPLE : SIMULATIONS DES EQUATIONS DIFFERENTIELLES DE VAN DER POL UTILISANT SIMULINK	184
ANNEXE B.....	187
BIBLIOGRAPHIE.....	190
PUBLICATIONS & COMMUNICATIONS	197