

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**UNIVERSITE DE BLIDA**  
**Institut d'Electronique**

**MEMOIRE DE MAGISTER**

Préparé par M<sup>elle</sup> DJOUADI Dahbia

**Theme**

**MODELISATION, STABILITE et COMMANDE DES  
SYSTEMES HYBRIDES**

**Application a une Ruche Apicole**

Le jury est composé de :

M. A.GUESSOUM	Professeur	U.S.T.B	Président
M. H.SALHI	M.C	U.S.T.B	rapporteur
M. S.DJENNOUNE	M.C	U.M.M.T.O	rapporteur
M. B.KAZED	C.C	U.S.T.B	examineur
M. H.REZINE	M.C	EMP	examineur

## Dédicaces

*Je tiens à dédier ce travail à :*

*Mes très chers parents, qui en toute occasion m'ont apporté leur soutien et leur encouragement,*

*Mes très chers frères, sœurs et belle sœur, en particulier Karim pour sa patience et sa disponibilité,*

*Mon fiancé Hakim, ses parents et toute sa famille,*

*Ma tante Nadia, son mari Nacer et ses deux garçons en particulier Tahar,*

*Tous mes amis et collègues de l'institut de biologie de l'UMMTO en particulier Naima, Nouria, Zina, sans oublier Fadhila et son enfant.*

## *Avant propos*

*Le travail présenté dans ce mémoire a été réalisé au laboratoire de productique et de conduite des systèmes de production de l'institut d'électronique de l'université Mouloud Mammer à Tizi Ouzou sous la direction conjointe de MM. S.DJENNOUNE et H.SALHI.*

*A Messieurs S.DJENNOUNE et H.SALHI, j'exprime ma profonde gratitude pour leur aide efficace et précieuse qu'ils m'ont prodigué pour mener à bien ce travail. Je tiens à leur exprimer ma profonde reconnaissance pour tout ce qu'ils m'ont apporté et appris.*

*Je profite par la même occasion, pour remercier M.AMER YAHIA, M.SI AMMOUR, M.GUERMAH et tout le personnel du laboratoire pour m'avoir accueillie parmi eux et faciliter les conditions de travail.*

*Mes vifs remerciements s'adressent à M.M.L.SI AHMED qui n'a cessé de m'apporter aide et soutien lors de l'élaboration de ce mémoire.*

*J'exprime mes vifs remerciements aux membres de jury pour l'honneur qu'ils m'ont accordé en acceptant de juger ce travail.*

*Je ne saurais oublier tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à ma formation.*

# Liste des principales notations

Symbole	Désignation
$\mathfrak{R}$	corps des réels
$\mathfrak{R}^n$	$(\mathfrak{R} \times \mathfrak{R} \times \mathfrak{R} \times \dots \times \mathfrak{R})$ $n$ fois
$X_C \subseteq \mathfrak{R}^n$	ensemble des états continus
$X_D$	ensemble des états discrets
$q$	état discret
$X = X_D \times X_C$	espace d'état global du système
$x$	vecteur d'état
$U_C \subseteq \mathfrak{R}^m$	ensemble des commandes continues
$U_D$	ensemble des commandes discrètes
$U = U_D \times U_C$	ensemble de toutes les commandes
$u$	vecteur de commande
$Y_C \subseteq \mathfrak{R}^n$	ensemble des sorties continues
$Y_D$	ensemble des sorties discrètes
$Y = Y_D \times Y_C$	ensemble de toutes les sorties
$y$	vecteur de sortie
$t \geq 0$	variable temps
$\dot{x}$	$\frac{dx}{dt}$
$\ (\cdot)\ $	norme Euclidienne de $(\cdot)$
$A^T$	transposée de la matrice $A$
$A^{-1}$	inverse de la matrice $A$
$T$	intervalle de temps
$\tau_i$	instants de basculement
$\tau$	ensemble des instants de basculement
$\psi$	fonction de transition d'état discret
$f$	fonction d'évolution d'état continue
$h$	fonction de sortie
$I$	ensemble des conditions initiales
$m$	marquage d'une place
SED	système à événements discrets
RDPD	réseau de Pétri discret
RDPC	réseau de Pétri continu
RDPH	réseau de Pétri hybride
RFC	réseau à flux continu
	réseau à flux hybride

## المالخص :

الهدف من هذا البحث هو دراسة الأنظمة المهجنة . النظام المهجن هو كل نظام قادر على عرض خصائص مستمرة وغير مستمرة في آن واحد .

في المرحلة الأولى قمنا بجمع معظم المؤلفات والأبحاث المنجزة حول الأنظمة المهجنة و أنجزنا لائحة النماذج المقترحة . الدراسة المكثفة والتحليل الدقيق لهذه الأبحاث مكننا من إقتراح نموذج عام . في المرحلة الثانية قمنا بدراسة توازن بعض الأنظمة المهجنة وبعض مخططات الرقابة .

في نهاية هذا البحث , قمنا بتطبيق النتائج التي توصلنا إليها في المراحل السابقة على مثال فيزيائي والذي يتمثل في " خلية النحل " .

كلمات مفتاحية: الأنظمة المهجنة , نموذجية , توازن , رقابة .

## **Abstract**

The main objective of this thesis is to study the modeling, the stability and the control of hybrid systems. First, we have dressed a panorama of the hybrid models proposed in literature. A general model is presented by the synthesis of these models. We studied then, the stability of a class of hybrid systems and some strategies of control.

Secondly, we applied the results of the survey realized before for the modeling and control of a bee hive by the hybrid approach. The objective of the control is to improve the level of its production.

**Keywords:** Hybrid systems, modeling, stability, control

## **Résumé**

L'objectif de ce travail est d'étudier la modélisation, la stabilité et la commande des systèmes hybrides. Dans la première phase, nous avons dressé un panorama des différents modèles hybrides proposés en littérature. La synthèse très fine de ces modèles nous a permis de présenter un modèle généralisé capable de décrire la plupart des phénomènes hybrides. Nous avons par la suite étudié la stabilité d'une classe de systèmes hybrides ainsi que quelques schémas de commande.

Dans la seconde phase, nous avons appliqué les résultats de l'étude réalisée auparavant pour la modélisation et la commande d'une ruche apicole par l'approche hybride. L'objectif de contrôle est d'augmenter sa production.

**Mots clés :** Systèmes hybrides, modélisation, stabilité, commande.

# Table des matières

<b>Introduction Générale</b> .....	1
<b>1. Modélisation des systèmes hybrides</b> .....	3
I- Introduction.....	3
II- Différents types de systèmes hybrides.....	4
II-1 Systèmes continus commandés par ordinateur.....	4
II-2 Systèmes à aiguillage.....	5
II-3 Systèmes à effets impulsions.....	5
III Modélisation des systèmes hybrides par les automates hybrides.....	6
III-1 Rappel sur les automates à états finis.....	6
III-2 L'automate hybride.....	7
III-2-1 Modèle analytique.....	7
III-2-2 Modèle graphique.....	9
III-2-3 Les automates hybrides proposés en littérature.....	12
i] L'automate de Tavernini.....	12
ii] L'automate de Back-Guckenheimer-Myers.....	13
III-2-4 Interconnexion d'automates.....	13
IV Modélisation des systèmes hybrides par les systèmes à interface.....	16
IV-1 Le modèle d'Antsaklis.....	16
IV-2 Le modèle de Brockett.....	18
IV-3 Modèle à interface généralisé.....	19
V Modélisation des systèmes hybrides par les réseaux de Pétri hybrides.....	22
V-1 Le RDPD.....	22
V-2 Le RDPC.....	23
V-3 L'interface.....	24
V-3-1 Modélisation de l'aiguillage entre les champs de vecteurs.....	24
V-3-2 Les sauts continus.....	25

V-3-3 Génération d'événements.....	25
VI Modélisation des systèmes hybrides par les réseaux à flux hybrides.....	26
VI-1 Le réseau à flux continu.....	27
VI-2 Le réseau à flux hybride.....	29
VI-2-1 Influence de la partie discrète sur la partie continue.....	29
VI-2-2 Influence de la partie continue sur la partie discrète.....	30
VII Conclusion.....	31
<b>2. Stabilité et commande des systèmes hybrides.....</b>	<b>33</b>
I- Introduction.....	33
II- Stabilité des systèmes hybrides.....	33
III- Commande des systèmes hybrides utilisant la théorie de Lyapunov.....	36
IV- Stratégies de commande des systèmes hybrides à interface.....	40
IV-1 Synthèse d'une loi de contrôle.....	41
IV-1-1 Approche I.....	41
IV-1-2 Approche II.....	43
V- Conclusion.....	47
<b>3. Application à une ruche apicole.....</b>	<b>48</b>
I- Introduction.....	48
II- Présentation de la ruche.....	48
II-1 La colonie d'abeilles.....	48
II-2 L'habitation de l'abeille -la ruche-.....	49
II-3 L'alimentation des abeilles.....	49
II-4 Le nourrissage artificiel.....	50
III- Modélisation de la ruche apicole.....	50
III-1 Hypothèses de travail.....	50
III-2 Etude expérimentale.....	50
III-3 Modélisation mathématique.....	54
III-3-1 Modélisation de la ruche par un automate hybride.....	54
III-3-2 Modélisation de la ruche par les systèmes à interface.....	57
IV- Commande de la ruche par l'approche hybride.....	58
IV-1 Modélisation du contrôleur hybride.....	58
IV-1-1 Formulation du problème de commande optimale.....	60
IV-1-2 Application à la ruche.....	63
IV-1-3 Algorithme de commande.....	65
IV-1-4 Résultats de la commande.....	66
IV-2 Modélisation du système hybride global en boucle fermée.....	69



V- Conclusion.....70

**Conclusion et perspectives.....72**

**Annexe A.....74**

**Annexe B.....79**

**Bibliographie.....80**