



THESE

Pour l'obtention du grade de
DOCTEUR

DISCIPLINE : PHYSIQUE
SPECIALITE : ELECTRONIQUE - MICROELECTRONIQUE

EQUIPE : COMPOSANTS ET MICROELECTRONIQUE

Présentée par

Bachir BENHALA

**Adaptation de l'Algorithme des Colonies de Fourmis
pour l'Optimisation et le Dimensionnement des
Circuits Intégrés Analogiques**

Directeur de thèse : Dr. Ali AHAITOUF
Co-directeur de thèse : Dr. Abdellah MECHAQRANE

Soutenue le 12/01/2013 devant la Commission d'examen

Mr. Mohammed MEKNASSI	PES	FS Dhar El Mehraz	Fès	Président
Mr. Mustapha ALAMI	PES	INPT	Rabat	Rapporteur
Mr. Omar BOUATTANE	PES	ENSET	Mohammedia	Rapporteur
Mme. Fatima ERRAHIMI	PES	FST	Fès	Rapporteur
Mr. Nabih EL OUAZANI	PES	FST	Fès	Examineur
Mr. Mourad FAKHFAKH	PH	ENIS	Sfax	Examineur
Mr. Mohammed RAMDANI	HDR	ESOE	Angers	Examineur
Mr. Ali AHAITOUF	PES	FST	Fès	Directeur de thèse
Mr. Abdellah MECHAQRANE	PES	FST	Fès	Co-directeur de thèse

Résumé

Les métaheuristiques trouvent en électronique un champ fertile d'application où la complexité de réalisation des circuits intégrés croît de jour en jour, ce qui rend leurs conceptions impossibles avec des méthodes conventionnelles.

L'optimisation par l'algorithme des colonies de fourmis (ACO) est une nouvelle classe d'algorithmes proposée pour résoudre les problèmes NP-difficile. Cette métaheuristique s'inspire du comportement collectif des fourmis. Celles-ci, bien qu'ayant individuellement des capacités cognitives limitées, sont capables collectivement de construire une solution au problème posé, en s'appuyant sur leur expérience collective.

Dans cette thèse, nous nous intéressons à l'application de la métaheuristique d'optimisation par colonie de fourmis pour résoudre des problèmes d'optimisation de dimensionnement des circuits électroniques analogiques et d'automatiser leur conception. Dans ce cadre, l'ACO a été adapté aux problèmes mono et multi-objectifs. Une étude de robustesse a d'abord été menée sur différentes fonctions mathématiques typiques de tests. Ensuite, les algorithmes proposés ont été appliqués pour optimiser des circuits analogiques standards, tel que, les convoyeurs de courant, les amplificateurs analogiques et des filtres analogiques. Les résultats trouvés sont ensuite comparés à ceux obtenus par d'autres techniques issues de la famille des métaheuristiques.

Mots-clefs : *Optimisation, métaheuristiques, algorithme des colonies de fourmis, CMOS, circuits intégrés analogiques, CCII, ICCII, Ampli-Op, OTA, filtres analogiques.*

Table des matières

Remerciements	I
Avant propos	II
Glossaire	III
Résumé	IV
Abstract	V
Liste des algorithmes	VI
Liste des figures	VII
Liste des tableaux	IX
Introduction générale	1
Chapitre 1 :	
Algorithme des colonies de fourmis	5
1.1. Introduction	5
1.2. Optimisation mono-objectif	6
1.2.1 Complexité théorique d'un problème	6
1.2.2 Optimisation mono-objectif	7
1.2.3 Métaheuristiques pour l'optimisation mono-objectif	8
1.3. Algorithme des colonies de fourmis	9
1.3.1 Optimisation naturelle : Pistes de phéromone	9
1.3.2 Algorithme des colonies de fourmis et problème du voyageur de commerce	10
1.3.3 Algorithme de base : le « Ant System »	12
1.3.4 Variantes	14
1.3.5 Choix des paramètres	16
1.3.6 Formalisation et propriétés d'un algorithme des colonies de fourmis	17
1.3.6.1 Formalisation	17
1.3.6.2 Phéromones et mémoire	18
1.3.6.3 Intensification/diversification	18
1.3.6.4 Recherche locale et heuristique	19
1.3.6.5 Parallélisme	19

1.4. Optimisation multi-objectifs.	20
1.4.1 Définition du problème multi-objectifs	20
1.4.2 Approche agrégative	21
1.4.3 approche non-Pareto	22
1.4.4 approche Pareto	23
1.5. L'ACO en optimisation multi-objectifs.	23
1.5.1 L'algorithme « Multiple Objective Ant-Q ».	23
1.5.2 Les algorithmes BicriterionAnt et BicriterionMC	24
1.5.3 L'algorithme « Pareto Ant Colony Optimization »	25
1.5.4 L'algorithme « Multiple Ant Colony System » pour le problème de tournées de véhicules avec fenêtres de temps	25
1.5.5 L'algorithme « Multiple Ant Colony System ».	25
1.5.6 L'algorithme « COMPETants »	26
1.5.7 L'algorithme « Multi-objective Network ACO ».	26
1.5.8 L'algorithme « Crowding Population-based Ant Colony Optimization »	27
1.6. Classification des algorithmes MOACO	27
1.7. Evaluation les performances d'un algorithme	30
1.7.1 La métrique Covariance	30
1.7.2 La métrique Hypervolume	30
1.7.3 La métrique Espacement.	31
1.8. Les métaheuristiques en électronique	31
1.9. Conclusion.	32

Chapitre 2 :

Adaptation de l'ACO : Description et validation.	34
2.1. Introduction	34
2.2. Adaptation de l'ACO.	35
2.2.1 Principe de l'adaptation	35
2.2.2 Algorithmes ACO et MOACO	36
2.2.2.1 Algorithme en mono-objectif (ACO)	36
2.2.2.2 Algorithme en multi-objectifs (MOACO).	39
2.3. Paramétrage et validation de l'ACO et du MOACO.	40
2.3.1 Algorithme ACO	40

2.3.1.1 Paramétrage de l'ACO	40
2.3.1.2 Evaluation de l'ACO.	42
2.3.1.2.1 Evaluation de la convergence.	43
2.3.1.2.2 Test de robustesse.	43
2.3.1.3 Critères d'arrêt et nombre de fourmis	44
2.3.2 Algorithme MOACO.	46
2.3.2.1 Tests d'évaluation du MOACO.	46
2.3.2.2 Résultats des tests du MOACO	47
2.3.2.3 Mesure de performances	49
2.4. Conclusion.	53

Chapitre 3 :

Application de l'ACO et du MOACO au dimensionnement de circuits analogiques en mode courant.	55
3.1. Introduction	55
3.2. Transistor MOS	56
3.2.1 Modes de fonctionnement	56
3.2.2 Modèle en régime de variation de petits signaux	57
3.2.2.1 Modèle en base fréquence	57
3.2.2.2 Modèle en haute fréquence.	58
3.3. Applications de l'ACO et du MOACO aux circuits en mode courant :	
Convoyeurs de courant.	60
3.3.1 Convoyeur de courant de seconde génération.	60
3.3.1.1 Fonction objectif et contraintes.	63
3.3.1.2 Résultats d'optimisation et comparaisons	65
3.3.2 Convoyeur de courant inversé de seconde génération	74
3.3.2.1 Fonction objectif et contraintes.	75
3.3.2.2 Optimisation et comparaison	76
3.4. Filtre passe-bande à base de CCIIs	79
3.4.1 Constitution	79
3.4.1.1 Simulation d'une inductance	79
3.4.1.2 Résistance négative	79
3.4.1.3 L'architecture du filtre étudié	80
3.4.2 Résultats	80
3.5. Conclusion.	82

Chapitre 4 :

Application de l'ACO et du MOACO au dimensionnement de circuits analogiques en mode tension	83
4.1. Introduction	83
4.2. Applications de l'ACO et du MOACO aux circuits en mode tension :	
Amplificateurs.	83
4.2.1 Amplificateur opérationnel.	83
4.2.1.1 Performances et principe d'optimisation.	84
4.2.1.2 Résultats d'optimisation et comparaisons	88
4.2.1.2.1 Le compromis optimal	88
4.2.1.2.2 Comparaison de résultats.	90
4.2.1.2.3 Le multi-objectifs	91
4.2.1.2.4 Comparaison de résultats.	92
4.2.2 Amplificateur opérationnel de transconductance	93
4.2.2.1 Performances et contraintes	94
4.2.2.2 Résultats d'optimisation et comparaisons	98
4.3. Filtre Butterworth.	101
4.3.1. Filtre Butterworth du second ordre.	101
4.3.2 Filtre Butterworth 4 ^{ème} ordre.	102
4.3.3 Résultats d'optimisation	103
4.4. Conclusion.	105
Conclusion générale et perspectives.	106
Annexes A : Métaheuristiques	108
Annexes B : Test mono-objectif	117
Annexes C : Test multi-objectifs	120
Annexes D : Transistor MOS.	121
Annexes E : détails des calculs	125
Annexes F : Ensemble de travaux	131
Références bibliographiques	133