

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche**  
**scientifique**

**Université des Sciences et Technologie Houari Boumediene**  
**Faculté d'Electronique et d'Informatique**  
**Département d'Informatique**

**Mémoire de fin d'études**

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur  
d'Etat en informatique

**Thème :**

**Modélisation et Simulation par multi-agent d'un système  
de paiement interbancaire (RTGS)**

**Réalisés par**

- Ndayishimiye Joseph
- Mpwaji Frank Lawrence

**Proposé par**

**Mme HEDJAZI Badiâa**  
**DELLAL**

**Promotion : 2009/2010**

## Remerciements

Nous adressons en premier lieu nos vifs remerciements à Mme HEDJAZI, chercheur au centre de recherche sur l'information scientifique et technique (CERIST), pour nous avoir proposé un sujet de fin d'études riche et passionnant, et pour son encadrement et son suivi tout au long de l'exécution de notre PFE. Nous la remercions également pour son attention particulière, pour ses efforts et ses conseils dans la réalisation de notre PFE. Nos remerciements vont également à l'encontre du personnel du CERIST, pour nous avoir offert un terrain de stage pour concrétiser notre projet de fin d'études, et plus particulièrement à Mr MEZIANE (directeur du département systèmes d'information et systèmes multimédia du CERIST) pour son accueil, son orientation vers Mme HEDJAZI, et pour tous les services administratifs qu'ils nous ont rendus tout au long de notre stage au CERIST.

Nos remerciements vont ensuite à Mr KECHID, enseignant à l'USTHB au département d'informatique, chargé de la commission de suivi de notre PFE, pour son attention et pour son suivi de notre PFE jusqu'à son terme.

Nous remercions également l'honorable jury pour les efforts consentis à l'évaluation de notre travail.

Nous remercions l'ensemble du corps enseignant de l'USTHB qui a contribué directement ou indirectement à l'accomplissement de notre graduation et à toute personne qui a contribué à l'accomplissement de notre PFE.

Enfin, nos remerciements vont à l'encontre de nos amis et proches pour leur soutien moral et leur encouragement durant notre cursus universitaire.

## *Dédicaces*

*Plus spécialement à ma très chère maman qui m'aime tant;*

*A mon grand frère Serge et sa femme Bernite, mes sœurs Amélie, Euphrasie et Aggripine;*

*A NAHIMANA Apolline;*

*A tous mes amis et proches qui m'ont soutenu tout le long de mon séjour en Algérie ;*

*Je dédie ce mémoire*

***NDAYISHIMIYE Joseph***

## **Dédicaces**

*Je voudrais dédier ce mémoire à mes chers parents Mr & Mrs Mpwaji, mes frères*

*Fr. Vincent Mpwaji, Deogratius Mpwaji, Fortunatus Mpwaji et mes sœurs Margreth Mpwaji*

*et Esther Mpwaji qui me donnent toujours le courage et tous mes amis qui m'ont soutenu*

*durant mon séjour en Algérie*

***Mpwaji Frank Lawrence***

## Résumé

Ce projet consiste à simuler un système de paiement interbancaire RTGS à travers un modèle multi-agent pour analyser l'évolution de la liquidité apportée par les banques au système. Dans le modèle, chaque banque choisit quotidiennement le montant de liquidité à engager dans le système sur base de minimisation des coûts (coûts de liquidité et de retard) en tenant compte de la liquidité apportée par les autres banques. Le raisonnement des agents banques est basé sur un jeu d'agrégat répété sur plusieurs journées de règlement où chaque banque joue contre le reste des autres banques. Pour atteindre l'équilibre, nous intégrons aux agents un module d'apprentissage et d'adaptation basé sur les systèmes de classeurs. Nous effectuons ensuite plusieurs simulations numériques pour suivre l'évolution de la liquidité globale du système dans deux scénarios : (i) fonctionnement normal du système sans aucun incident, (ii) fonctionnement du système avec un incident opérationnel qui empêche une banque d'effectuer ses opérations.

# Sommaire

<b>Introduction générale</b> .....	12
<b>1<sup>ère</sup> Partie : ETAT DE L'ART</b> .....	14
<b>Chapitre I : Les systèmes RTGS</b> .....	15
1. Introduction .....	15
2. Principales caractéristiques des RTGS .....	15
2.1. Définition .....	15
2.2. Procédure de paiement .....	15
2.3. Capacité à limiter les risques du système de paiement .....	16
2.4. Besoins de liquidité intra-journalière .....	16
3. Principe de fonctionnement des RTGS .....	16
4. Architectures des RTGS .....	17
4.1. Architecture en forme V .....	18
4.2. Architecture en forme Y .....	18
4.3. Architecture en forme L .....	19
4.4. Architecture en forme T .....	20
5. Gestion des files d'attente .....	20
5.1. Algorithmes de gestion des files d'attente centrales .....	21
5.2. Optimisation des files d'attente .....	21
6. Approches de simulation des RTGS .....	22
6.1. Simulation mathématique .....	22
6.2. Simulation multi-agent .....	22
7. Conclusion .....	23
<b>Chapitre II : Les systèmes multi-agents</b> .....	24
1. Introduction .....	24
2. Agent .....	24
2.1. Définitions d'agent .....	24
2.2. Architecture générale et fonctionnement d'un agent .....	25
2.3. Propriétés d'un agent .....	26
2.4. Typologie d'agents .....	26
2.4.1. Agent réactif .....	26
2.4.2. Agent cognitif .....	26
2.4.3. Agent hybride .....	28
2.5. Apprentissage des agents .....	28
2.5.1. Types d'apprentissage .....	28
2.5.1.1. Apprentissage symbolique .....	28
2.5.1.2. Apprentissage numérique .....	29
2.5.2. Paradigmes d'apprentissage .....	29
2.5.2.1. Apprentissage non supervisé .....	29
2.5.2.2. Apprentissage supervisé .....	29
2.5.2.3. Apprentissage par renforcement .....	29
2.5.3. Techniques d'apprentissage .....	29
2.6. Applications des agents autonomes .....	29
3. Systèmes multi-agents (SMA) .....	30

3.1. Définition d'un SMA	30
3.2. Interactions dans les SMA	30
3.2.1. Communication	31
3.2.1.1. Communication par partage d'information	31
3.2.1.2. Communication par envoi de messages	31
3.2.1.3. Les langages de communication dans les SMA	32
3.2.2. Coopération	35
3.2.3. Négociation	35
3.3. Organisation d'un SMA	36
3.4. Méthodologies de conception des SMA	36
3.4.1. Méthodologie AIEO	37
3.4.2. Méthodologie GAIA	37
3.4.3. Méthodologie AGR	38
3.5. Plateformes de développement des SMA	39
3.5.1. La plateforme Madkit	39
3.5.2. La plateforme Jade	39
3.5.3. La plateforme Zeus	40
3.6. Utilité et domaines d'application des SMA	40
3.7. Simulation multi-agent	41
3.7.1. Caractéristiques et avantages de la simulation multi-agent	41
3.7.2. Avantages de la simulation multi-agent pour les RTGS	41
3.7.3. Quelques modèles multi-agents de simulation des RTGS	42
4. Conclusion	42

### **Chapitre III : Les systèmes de classeurs** -----43

1. Introduction	43
2. Notion de classeur	43
3. Représentation des données dans un classeur	43
4. Architecture générale d'un système de classeurs	43
5. Fonctionnement des algorithmes du système de classeurs	45
5.1. Algorithme du Bucket Brigade	45
5.2. Création de nouvelles règles : covering	46
5.3. Algorithme génétique	46
6. Les différents types de systèmes de classeurs	47
6.1. LCS	47
6.2. ZCS	48
6.3. XCS	48
6.4. ACS	48
7. Conclusion	48

### **Chapitre IV : La théorie des jeux évolutionnistes** -----49

1. Introduction	49
2. Pourquoi des jeux évolutionnistes?	49
3. Représentation d'un jeu	49
3.1. Représentation en forme stratégique	49
3.2. Représentation en forme extensive	50
4. Définition d'un jeu en forme stratégique	50

5. Classification des jeux -----	51
6. Equilibre d'un jeu -----	52
6.1.Définition de l'équilibre -----	52
6.2.Equilibre de Nash -----	52
7. Exemple de jeux classique : le dilemme du prisonnier -----	52
8. Application de la théorie des jeux à l'étude des RTGS -----	53
9. Conclusion -----	54

## **2<sup>ème</sup> partie : CONCEPTION -----55**

### **Chapitre V : Analyse et Conception du système -----56**

1. Introduction -----	56
2. Modèle de jeu de liquidité des banques dans les RTGS -----	56
2.1.Les banques et la liquidité -----	57
2.2.Les paiements et les retards -----	57
2.3.Procédure de paiement -----	58
2.4.Les coûts et le profit -----	58
2.5.Représentation du jeu sous forme stratégique -----	58
2.6.Déroulement du jeu -----	59
3. Analyse du système -----	59
3.1.Spécification du système RTGS à simuler -----	59
3.2.Méthodologie de conception utilisée -----	60
3.3.Analyse des composants du système -----	60
3.3.1. Identification des agents -----	60
3.3.1.1.Agent RTGS -----	60
3.3.1.2.Agents Banques -----	61
3.3.2. Schéma général du système -----	61
3.3.3. Environnement du système -----	62
3.3.4. Interactions au sein du système -----	62
3.3.5. Organisation d'un SMA -----	64
4. Conception détaillée -----	64
4.1.Agent RTGS -----	64
4.1.1. Architecture de l'agent RTGS -----	64
4.1.2. Classe d'agent RTGS -----	65
4.1.3. Description de l'agent RTGS -----	65
4.2.Agents Banques-----	66
4.2.1. Module d'apprentissage : Système de classeur -----	66
4.2.1.1.Premier système de classeur -----	67
4.2.1.2.Deuxième système de classeur -----	68
4.2.2. Architecture de l'agent RTGS -----	69
4.2.3. Classe d'agent RTGS -----	70
4.2.4. Description de l'agent RTGS -----	71
4.2.5. Intégration du jeu de liquidité dans l'agent banque -----	71
4.3.Diagrammes d'activités des agents -----	72
4.4.Conception de la base de données -----	74
4.4.1. Identifications des classes de la base de données -----	74
4.4.2. Description des classes -----	75
5. Conclusion -----	76



<b>3<sup>ème</sup> partie : REALISATION</b>	77
---	----

<b>Chapitre VI : Réalisation</b>	78
----------------------------------	----

1. Introduction	78
2. Outils et environnement de développement	78
2.1. Plateforme multi-agent (JADE)	78
2.2. Langage de programmation (Java)	78
2.3. SGBD	79
2.4. Module d'apprentissage (ART)	79
3. Architecture logicielle du prototype	80
4. Algorithmes d'exécution des agents	81
4.1. Algorithme d'exécution de l'agent RTGS	81
4.2. Algorithme d'exécution de l'agent banque	81
5. Interfaces Homme-Machine	82
6. Conclusion	87

<b>Conclusion générale</b>	88
----------------------------	----

Références bibliographiques	90
-----------------------------	----

Annexe A : La plateforme Jade	92
Annexe B : La librairie ART	103
Annexe C : Synthèse d'AUML	104