

17A 004-62-1

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



Université Saad Dahlab, Blida

USDB.

Faculté Des Sciences

Département Informatique

**Mémoire Pour L'obtention  
Du Diplôme De Master En Informatique**

Option : Ingénierie de Logiciels

Sujet :

**Modèle par la théorie des jeux pour la signalisation  
par le dividende dans un marché financier.**

**Approche multi-agent**



Présenté par :

- M<sup>r</sup>. NAIMI Hamza.
- M<sup>elle</sup>. SIMOHAMED Nawel.

Proposé et dirigé par :

- M<sup>me</sup>. HEDJAZI Badiâa, Dellal.

Soutenue le: septembre 2011, devant les jurys composé de :

M <sup>me</sup> . ABED	Professeur, université de Blida	Président.
M <sup>r</sup> . BENOUAR	Doctorant, université de Blida	Examineur.
M <sup>me</sup> . Azzouz	Enseignante, université de Blida	Examineur.

## **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'il nous a rendus tout au long de notre stage au CERIST.

Nos remerciements vont ensuite à Mr BALA enseignant à l'USDB au département d'informatique, 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'USDB 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

- A mon père que Dieu ait son âme.
- A ma mère qui a éclairé mon chemin et qui m'a encouragé et soutenu tout au long de mes études.
- A mon frère, à mes sœurs et à toute la famille NAIMI et la famille ABBAD pour leur soutien moral et leurs conseils.
- A mon adorable nièce Nada, que Dieu la protège.
- A mon binôme Nawel pour sa perfection au travail et ses sacrifices et sa patience qui ont permis d'accomplir ce travail.
- A tous mes amis chacun à son nom, surtout mes amis de la promo 2011 informatique et mes amis du lycée Houari Mahfoud, qui par leur affection exemplaire et leurs conseils ont aplani devant moi les difficultés de la vie et des études ; je dédie mon travail.

Hamza

## Dédicaces

A ma très chère mère qui ne cesse de se sacrifier pour nous.

A mon superbe père qui fait tout pour nous rendre heureux.

A mes frères,

À mes sœurs,

A ma famille pour tous ses encouragements,

A mon binôme Hamza pour son travail et sa patience,

A mes très chers ami(e)s,

Je dédie ce modeste travail.

Nawel.

## Résumé

Les marchés financiers sont des systèmes complexes composés d'entités en fortes interactions et évoluant dans un environnement très incertain. Leur étude, modélisation et simulation nécessite l'utilisation d'une technologie adaptée qu'est les systèmes multi-agents pour la construction de modèles de ces marchés.

La signalisation par le dividende est une théorie financière qui permet l'étude de réactions potentielles de marchés boursiers à l'annonce d'une modification du dividende par les firmes.

L'étude des choix des stratégies de politiques du dividende des entreprises nécessitent l'utilisation d'outils formels comme la théorie des jeux.

Le projet consiste à étudier, analyser et simuler la dynamique globale d'un marché financier en utilisant la Théorie des Jeux Evolutionniste (TJE) comme cadre formel pour les stratégies de signalisation par le dividende des entreprises à travers la modélisation d'un marché financier avec un système multi-agent. Les investisseurs et les firmes du système sont construits avec des systèmes de classeurs.

**Les mots clés :** Marché financier, signalisation par le dividende, système multi-agent, apprentissage, système de classeurs, théorie des jeux évolutionniste.

## Abstract

Stock markets are a complex systems composed of entities operating in strong interactions and a high uncertain environment. Their study, modeling and simulation require the use of appropriate technology that is the multi-agent systems to build models of these markets.

Signaling through the dividend is a financial theory that allows the study of potential reactions of stock markets with the announcement of a change of dividend by companies.

The study of dividend policy choice of companies requires the use of formal tools such as game theory.

The project is to study, analyze and simulate the dynamics of global stock markets using evolutionary game theory (EJT) as a formal framework for the strategies of the dividend signaling, through the modeling of a stock market with a multi-agent system. Investors and companies are built with the classifiers systems.

**Key words:** stock market, the dividend signaling, multi-agent system, learning, classifiers system, evolutionary game theory.

## الملخص

الأسواق المالية أنظمة معقدة تتكون من أفراد اقتصادية بينها مبادلات كثيرة في وسط غير ثابت إلى حد كبير. دراسة هذه الأسواق و محاكاتها تتطلب استخدام التكنولوجيا المناسبة التي هي الأنظمة متعددة الوكلاء لبناء نماذج لهذه الأسواق.

الإشارات من خلال توزيع أرباح هي نظرية مالية تسمح بدراسة ردود الفعل المحتملة داخل أسواق الأسهم عند الإعلان أو تغيير في توزيع أرباح الشركات.

دراسة واختيار استراتيجيات سياسة توزيع الأرباح للشركات تتطلب استخدام وسائل دقيقة مثل نظرية الألعاب. هذا المشروع هو دراسة وتحليل ومحاكاة ديناميكية الأسواق المالية العالمية باستخدام نظرية الألعاب التطورية كإطار رسمي لاستراتيجيات الإشارة في ما يخص توزيع أرباح الشركات من خلال نموذج للسوق المالي مع نظام متعدد الوكلاء أين بنية المستثمرين والشركات تعتمد على أنظمة الإيداع.

الكلمات الرئيسية: السوق المالية، الإشارة في توزيع الأرباح، نظام متعدد الوكلاء، والتعلم الذاتي، أنظمة الإيداع، ونظرية الألعاب التطورية.

## Liste des Tableaux

<i>TAB</i> LEAU 1: VOLUMES DES MARCHES FINANCIERS. ....	26
<i>TAB</i> LEAU 2: CARNET D'ORDRE AVANT L'EXECUTION D'UN ORDRE AU MARCHÉ. ....	30
<i>TAB</i> LEAU 3: CARNET D'ORDRE APRES L'EXECUTION D'UN ORDRE AU MARCHÉ. ....	30
<i>TAB</i> LEAU 4: LES DIFFERENTS TYPES D'ORDRES. ....	31
<i>TAB</i> LEAU 5: REGLES DE NASDAQ. ....	32
<i>TAB</i> LEAU 6: DEROULEMENT D'UNE JOURNEE A Euronext. ....	34
<i>TAB</i> LEAU 7: LES DIFFERENCES ENTRE LES SMA COGNITIFS ET LES SAM REACTIFS. ....	44
<i>TAB</i> LEAU 8: LES STRATEGIES DES FIRMES. ....	94
<i>TAB</i> LEAU 9: REPRESENTATION FORMELLE DU JEU. ....	95
<i>TAB</i> LEAU 10: CODIFICATION DE LA DISPONIBILITE DES INVESTISSEURS. ....	100
<i>TAB</i> LEAU 11: CODIFICATION DE LA SITUATION ECONOMIQUE. ....	100
<i>TAB</i> LEAU 12: CODIFICATION DE LA SUFFISANCE DE LA LIQUIDITE. ....	101
<i>TAB</i> LEAU 13: CODIFICATION DU RESTE DE LA DUREE DES PROJETS EN COUR. ....	101
<i>TAB</i> LEAU 14: CODIFICATION DU NIVEAU DE RISQUE DU PROJET. ....	101
<i>TAB</i> LEAU 15: CODIFICATION DE TYPE DE LA FIRME. ....	102
<i>TAB</i> LEAU 16: CODIFICATION DE L'ACTION D'INVESTISSEMENT. ....	102
<i>TAB</i> LEAU 17: CODIFICATION DE FA. ....	104
<i>TAB</i> LEAU 18: CODIFICATION DE L'ACTION EMETTRE DES ACTIFS FINANCIERS. ....	104
<i>TAB</i> LEAU 19: CODIFICATION DU MOYEN DE RISQUE DES PROJETS ACTIFS. ....	106
<i>TAB</i> LEAU 20: CODIFICATION DU NIVEAU MOYEN DE DIVIDENDE. ....	107
<i>TAB</i> LEAU 21: CODIFICATION DE LA SUFFISANCE DE LIQUIDITE CACHEE. ....	107
<i>TAB</i> LEAU 22: CODIFICATION DE L'ACTION ANNONCER DIVIDENDE. ....	108
<i>TAB</i> LEAU 23: CODIFICATION DE LA SUFFISANCE LA LIQUIDITE D'INVESTISSEUR. ....	114
<i>TAB</i> LEAU 24: CODIFICATION DE L'ACTION « S'INFORMER ». ....	114
<i>TAB</i> LEAU 25 : CODIFICATION DU LA PUISSANCE DE LA LIQUIDITE DE L'INVESTISSEUR. .	115
<i>TAB</i> LEAU 26: CODIFICATION DU NIVEAU DE DIVIDENDE ANNONCE (D). ....	116
<i>TAB</i> LEAU 27: CODIFICATION DE L'INFO. ....	116
<i>TAB</i> LEAU 28: CODIFICATION DE L'ACTION « ENVOYER ORDRE D'ACHAT ». ....	117
<i>TAB</i> LEAU 29: CODIFICATION DE L'ACTION « ENVOYER ORDRE DE VENTE ». ....	118
<i>TAB</i> LEAU 30: CARNET D'ORDRE. ....	118
<i>TAB</i> LEAU 31: DESCRIPTION DU DIAGRAMME DE CLASSES. <b>ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.</b>	
<i>TAB</i> LEAU 32: LES VARIABLES DU SYSTEME. ....	134
<i>TAB</i> LEAU 33: GESTION HORLOGE. ....	147

## Liste des Figures

FIGURE 1: LES INTERACTIONS DANS LE MARCHE OBLIGATAIRE.....	24
FIGURE 2: STRUCTURE GLOBALE D'UN MARCHE D' ACTIONS.....	26
FIGURE 3: SYSTEME D'EQUATIONS PROPOSEES PAR LOTKA ET VOLTERRA POUR LA MODELISATION D'UNE INTERACTION PROIE/PREDATEUR ENTRE DEUX ESPECES ANIMALES.....	35
FIGURE 4: LA REPRESENTATION DU CYCLE DE VIE D'UN AGENT.....	40
FIGURE 5: REPRESENTATION D'UN AGENT.....	42
FIGURE 6: UN AGENT REACTIF.....	43
FIGURE 7: UN AGENT COGNITIF.....	44
FIGURE 8: REPRESENTATION D'UN SYSTEME MULTI AGENTS [TAN, 05].....	46
FIGURE 9: LA METHODOLOGIE AGR.....	47
FIGURE 10: LA FORME EXTENSIVE DU JEU.....	66
FIGURE 11: SYSTEME D'APPRENTISSAGE PAR RENFORCEMENT.....	75
FIGURE 12: REPRESENTATION D'UN CLASSEUR.....	76
FIGURE 13: LE FONCTIONNEMENT GENERAL D'UN SYSTEME DE CLASSEUR.....	77
FIGURE 14: LA STRUCTURE DU LCS.....	78
FIGURE 15: OPERATION DU CROSSOVER LE ONE-POINT CROSSOVER.....	81
FIGURE 16: OPERATION DU CROSSOVER LE TWO-POINT CROSSOVER.....	81
FIGURE 17: ARCHITECTURE GLOBALE DE NOTRE SYSTEME.....	86
FIGURE 18: ORGANISATION DES SMA.....	88
FIGURE 19: REPRESENTATION DES 3 AXES DE DESCRIPTION D'UN SYSTEME SELON OMT.....	89
FIGURE 20: CAS D'UTILISATION SYSTEME GLOBAL.....	90
FIGURE 21: DIAGRAMME D'INTERACTION SPECULATEUR-INVESTISSEUR.....	90
FIGURE 22: DIAGRAMME D'INTERACTION INVESTISSEUR-MARCHE.....	91
FIGURE 23: DIAGRAMME D'INTERACTION FIRME-MARCHE.....	91
FIGURE 24: DIAGRAMME D'INTERACTION FIRME-DISTRIBUTEUR.....	92
FIGURE 25: DIAGRAMME D'ACTIVITE DE L'AGENT FIRME.....	97
FIGURE 26: L'ARCHITECTURE INTERNE DE L'AGENT FIRME.....	99
FIGURE 27: LA STRUCTURE DU 1ER SYSTEME CLASSEUR DE L'AGENT FIRME.....	100
FIGURE 28: LA STRUCTURE DU 2EM SYSTEME CLASSEUR DE L'AGENT FIRME.....	103
FIGURE 29: LA STRUCTURE DU 3EM SYSTEME CLASSEUR DE L'AGENT FIRME.....	106
FIGURE 30: DIAGRAMME D'ACTIVITE DE L'AGENT INVESTISSEUR.....	111
FIGURE 31: L'ARCHITECTURE INTERNE DE L'AGENT INVESTISSEUR.....	113
FIGURE 32: LA STRUCTURE DU 1ER SYSTEME CLASSEUR (S'INFORMER) DE L'AGENT INVESTISSEUR.....	114
FIGURE 33: LA STRUCTURE DU 2EM SYSTEME CLASSEUR (ORDRE ACHAT) DE L'AGENT INVESTISSEUR.....	115
FIGURE 34 :DIAGRAMME D'ACTIVITE DE L'AGENT SPECULATEUR.....	120
FIGURE 35: DIAGRAMME D'ACTIVITE DE L'AGENT MARCHE.....	121
FIGURE 36: DIAGRAMME D'ACTIVITE DE L'AGENT DISTRIBUTEUR.....	122

FIGURE 37:DIAGRAMME DE CLASSES. ....	124
FIGURE 38:INTERFACE D'ACCUEIL. ....	140
FIGURE 39:INTERFACE DE PARAMETRE DE SIMULATION. ....	141
FIGURE 40:INTERFACE SIMULATION « CARNET D'ORDRE ». ....	142
FIGURE 41:INTERFACE SIMULATION « EVOLUTION DU PRIX ». ....	143
FIGURE 42:INTERFACE SIMULATION « EVOLUTION DU DIVIDENDE». ....	145
FIGURE 43:INTERFACE SIMULATION « TABLE DU JEU». ....	146
FIGURE 44:ARCHITECTURE LOGICIEL DE LA PLATE-FORME JADE. ....	164
FIGURE 45:ARCHITECTURE DISTRIBUEE D'UNE PLATE FORME JADE. ....	165
FIGURE 46:LE FONCTIONNEMENT D'UN AGENT. ....	168

## Liste des Equations

ÉQUATION 1:LA VALEUR DE LA FIRME SELON M &M. ....	54
ÉQUATION 2: LE PRIX DE L'ACTION ORDINAIRE SELON WALTER. ....	56
ÉQUATION 3: LA FORMULE DU GAIN DU RICHARD FAIRCHILD. ....	71
ÉQUATION 4: CALCULE D'OFFRE BID. ....	79
ÉQUATION 5: CALCULE DE LA SPECIALISATION. ....	79
ÉQUATION 6: LE REWARD DU CS INV, LE CAS « INVESTIR ». ....	102
ÉQUATION 7: LE REWARD DU CS INV, LE CAS « NE PAS INVESTIR ». ....	103
ÉQUATION 8:LE REWARD DU CS FNC LE CAS NE RIEN FAIRE. ....	104
ÉQUATION 9: LE REWARD DU CS FNC, LE CAS EMETTRE DES OBLIGATIONS. ....	105
ÉQUATION 10: LE REWARD DU CS FNC, LE CAS DE S'AUTOFINANCER. ....	105
ÉQUATION 11: LE REWARD DU CS FNC, LE CAS D'EMETTRE DES ACTIONS A LA MEILLEURE LIMITE. ....	105
ÉQUATION 12: LE REWARD DU CS INFO. ....	114
ÉQUATION 13: LE REWARD DU CS ACH. ....	117
ÉQUATION 14: LE REWARD DU CS VNT. ....	118
ÉQUATION 15:CALCUL DE L'ACCROISSEMENT DE FIRME REALISE EN REPUTATION ET EN CAPITAL. ....	135
ÉQUATION 16: CALCUL DE L'ACCROISSEMENT D'INVESTISSEUR REALISE EN SA RICHESSE. .....	135

# Sommaire

REMERCIEMENTS

DEDICACES

RESUME

ABSTRACT

المخلص

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES EQUATIONS

LA PARTIE I : ETAT DE L'ART

PLAN DU MEMOIRE ----- 16

INTRODUCTION GENERALE----- 18

PROBLEMATIQUE ----- 19

OBJECTIF ----- 20

CHAPITRE 01 : LES MARCHES FINANCIERS ----- 21

1. INTRODUCTION----- 22

2. GENERALITES SUR LES MARCHES FINANCIERS ----- 22

2.1. DEFINITIONS ----- 22

2.2. PRINCIPAUX MARCHES ----- 23

2.2.1. *Marché de taux d'intérêt*----- 23

2.2.2. *Marché d'actions*----- 24

2.3. LES TITRES ----- 26

2.4. LES ORDRES----- 27

2.4.1. *Définition*----- 27

2.4.2. *Structure*----- 27

2.4.3. *Le carnet d'ordre* ----- 28

2.4.4. *Types d'ordres*----- 29

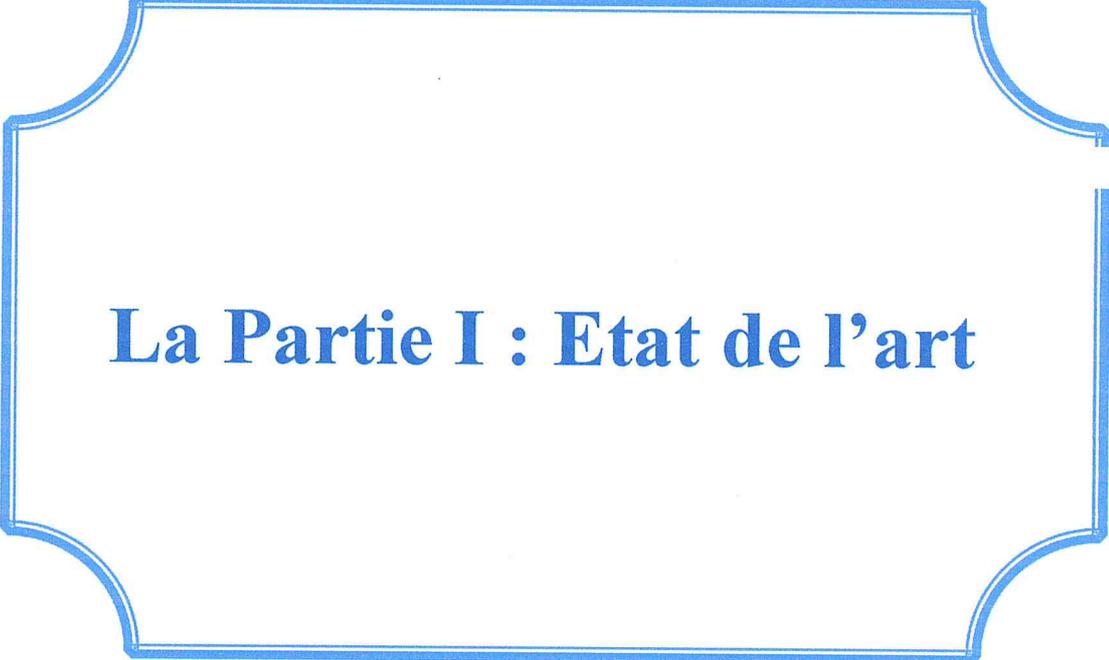
2.5.	LES INTERVENANTS SUR LE MARCHÉ FINANCIER -----	31
2.6.	LES MARCHÉS DIRIGÉS PAR LE PRIX VS LES MARCHÉS DIRIGÉS PAR L'ORDRE----	32
2.6.1.	<i>Exemples de marchés dirigés par le prix : NASDAQ</i> -----	32
2.6.2.	<i>Exemple de marchés dirigés par ordres : Euronext</i> -----	33
<b>3.</b>	<b>MODELISATION DES MARCHÉS FINANCIERS ARTIFICIELS -----</b>	<b>34</b>
3.1.	MODELISATIONS CENTRÉES GROUPE -----	34
3.2.	MODELISATIONS CENTRÉES INDIVIDU -----	35
3.2.1.	<i>Les modèles synchrones</i> -----	36
3.2.2.	<i>Les modèles asynchrones</i> -----	36
<b>4.</b>	<b>CONCLUSION -----</b>	<b>37</b>
	<b>CHAPITRE 02 : LES SYSTÈMES MULTI-AGENTS-----</b>	<b>38</b>
<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION-----</b>	<b>39</b>
<b>2.</b>	<b>AGENT -----</b>	<b>39</b>
2.1.	DEFINITIONS -----	39
2.2.	LE COMPORTEMENT D'UN AGENT -----	40
2.3.	CARACTÉRISTIQUES -----	41
2.3.1.	<i>La Communication</i> -----	41
2.3.2.	<i>L'Apprentissage</i> -----	41
2.3.3.	<i>L'Autonomie</i> -----	41
2.3.4.	<i>La Sociabilité</i> -----	41
2.3.5.	<i>La Réactivité</i> -----	41
2.3.6.	<i>La Pro-activité</i> -----	42
2.4.	LA REPRÉSENTATION D'UN AGENT -----	42
2.5.	LES TYPES D'AGENTS -----	42
2.5.1.	<i>Agents Réactifs</i> -----	42
2.5.2.	<i>Agents Cognitifs</i> -----	43
2.6.	STANDARDS DE COMMUNICATION -----	44
<b>3.</b>	<b>LES SYSTÈMES MULTI-AGENTS -----</b>	<b>45</b>
3.1.	MÉTHODOLOGIES DE CONCEPTION DES SMA -----	46
3.1.1.	<i>VOYELLE « AEIOU »</i> -----	46

3.1.2.	<i>AGR (Agent/Groupe/Rôle)</i>	47
3.2.	AVANTAGE DES SYSTEMES MULTI-AGENTS	48
3.3.	DOMAINES D'APPLICATIONS	48
<b>4.</b>	<b>PLATES FORMES MULTI-AGENTS</b>	<b>49</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSION</b>	<b>49</b>
<b>CHAPITRE 03 : LA SIGNALISATION PAR LE DIVIDENDE</b>		<b>51</b>
<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>52</b>
<b>2.</b>	<b>GENERALITES SUR LE DIVIDENDE</b>	<b>52</b>
2.1.	DEFINITION	52
2.2.	TYPES DE DIVIDENDE	53
2.2.1.	<i>Dividende en numéraire</i>	53
2.2.2.	<i>Dividende en action</i>	54
2.3.	INFLUENCE DE LA POLITIQUE DU DIVIDENDE SUR LA VALEUR DE LA FIRME	54
2.3.1.	<i>La thèse de neutralité des dividendes</i>	54
2.3.2.	<i>La thèse de non neutralité des dividendes</i>	55
<b>3.</b>	<b>LA SIGNALISATION PAR LE DIVIDENDE</b>	<b>56</b>
3.1.	SIGNALISATION ET L'ASYMETRIE D'INFORMATIONS	56
3.2.	LE ROLE INFORMATIONNEL DU DIVIDENDE DANS LA THEORIE DE SIGNAL	57
<b>4.</b>	<b>CONCLUSION</b>	<b>58</b>
<b>CHAPITRE 4 : LA THEORIE DES JEUX EVOLUTIONNISTE DANS LA SIGNALISATION PAR LE DIVIDENDE</b>		<b>60</b>
<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>61</b>
<b>2.</b>	<b>LA THEORIE DES JEU CLASSIQUE</b>	<b>61</b>
2.1.	DOMAINE D'APPLICATION DE LA THEORIE DES JEUX	61
2.2.	DEFINITION	61
2.3.	LA CLASSIFICATION DU JEU	62
2.3.1.	<i>Les Jeux coopératifs / non coopératifs</i>	62
2.3.2.	<i>Les jeux à information complète / à information incomplète</i>	62
2.4.	LA REPRESENTATION D'UN JEU	62

2.5.	CONCEPTS DE RESOLUTIONS D'UN JEU -----	63
<b>3.</b>	<b>LE SIGNAL DANS LE CADRE DE LA THEORIE DES JEUX-----</b>	<b>63</b>
3.1.	UN SIGNAL -----	63
3.2.	LA THEORIE DE SIGNAL -----	63
<b>4.</b>	<b>LES MODELES DE JEUX-----</b>	<b>64</b>
4.1.	LE MODELE DE CHIN-BUN TSE -----	64
4.2.	LE MODELE D'EMMANUELLE GABILLON -----	68
4.3.	LE MODELE DE RICHARD FAIRCHILD -----	69
<b>5.</b>	<b>CONCLUSION -----</b>	<b>72</b>
	<b>CHAPITRE 05 : LES SYSTEMES DE CLASSEURS -----</b>	<b>74</b>
<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION-----</b>	<b>75</b>
<b>2.</b>	<b>LES SYSTEMES DE CLASSEURS -----</b>	<b>76</b>
2.1.	DEFINITION DU SYSTEME DE CLASSEURS-----	76
2.2.	REPRESENTATION DES DONNEES DANS UN CLASSEUR -----	76
2.3.	LE FONCTIONNEMENT GENERAL D'UN SYSTEME DE CLASSEUR -----	77
2.4.	TYPES DE SYSTEMES DE CLASSEURS -----	77
2.4.1.	<i>Le LCS de Holland</i> -----	78
2.4.2.	<i>XCS</i> -----	78
<b>3.</b>	<b>L'ALGORITHME DE BUCKET-BRIGADE -----</b>	<b>79</b>
<b>4.</b>	<b>LES ALGORITHMES GENETIQUES-----</b>	<b>80</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSION -----</b>	<b>81</b>
	<b>LA PARTIE II : LA CONCEPTION</b>	
<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION-----</b>	<b>83</b>
<b>2.</b>	<b>LE CHOIX DU MARCHE A MODELISER -----</b>	<b>83</b>
<b>3.</b>	<b>LE CHOIX DE LA METHODOLOGIE SMA -----</b>	<b>83</b>
3.1.	L'ANALYSE -----	84
3.1.1.	<i>Utilisateur</i> -----	84

3.1.2.	<i>Agents</i>	84
3.1.3.	<i>L'Environnement</i>	85
3.1.4.	<i>Les interactions</i>	86
3.1.5.	<i>Organisation</i>	87
3.2.	LA CONCEPTION DU SYSTEME	88
3.2.1.	<i>Diagramme de Cas d'utilisation</i>	89
3.2.2.	<i>Diagramme d'interaction des Agents dans le système</i>	90
<b>4.</b>	<b>LE MODELE DU JEU DIVIDENDE</b>	<b>92</b>
4.1.	DEROULEMENT DU JEU	93
4.2.	DESCRIPTION DU JEU	94
4.3.	REPRESENTATION FORMELLE DU JEU	95
<b>5.</b>	<b>LA CONCEPTION INTERNE DES AGENTS</b>	<b>95</b>
5.1.	AGENT FIRME	95
5.1.1.	<i>Diagramme d'activité de l'Agent Firme</i>	95
5.1.2.	<i>Architecture interne de l'agent firme</i>	97
5.1.3.	<i>Systèmes classeurs de l'agent firme</i>	99
5.2.	AGENT INVESTISSEUR	110
5.2.1.	<i>Diagramme d'activité de l'Agent investisseur</i>	110
5.2.2.	<i>Architecture interne de l'agent investisseur</i>	111
5.2.3.	<i>Système classeur de l'agent Investisseur</i>	113
5.3.	AGENT SPECULATEUR	119
5.3.1.	<i>Diagramme d'activité de l'Agent spéculateur</i>	119
5.4.	AGENT MARCHE	120
5.4.1.	<i>Diagramme d'activité de l'Agent Marché</i>	120
5.5.	AGENT DISTRIBUTEUR DE PROJETS	121
5.5.1.	<i>Diagramme d'activité de l'Agent Distributeur</i>	121
<b>6.</b>	<b>CONCEPTION DE LA BASE DE DONNEES</b>	<b>122</b>
6.1.	DIAGRAMME DE CLASSE	122
6.1.1.	<i>L'identification des classes</i>	122
6.1.2.	<i>Description du diagramme de classe</i>	125
6.2.	LES VARIABLES	130

<b>7. ANALYSE DES RESULTATS</b>	135
<b>8. CONCLUSION</b>	136
<b>LA PARTIE III : REALISATION</b>	
<b>1. INTRODUCTION</b>	138
<b>2. ENVIRONNEMENT DU DEVELOPEMENT</b>	138
2.1. LA PLATE FORME MULTI-AGENTS	138
2.2. LE LANGAGE DE PROGRAMMATION	139
2.3. LE SGBD	139
2.4. LE MODULE D'APPRENTISSAGE	139
<b>3. LES INTERFACES HOME MACHINE</b>	140
3.1. ACCUEIL	140
3.2. PARAMETRE SIMULATION	141
3.3. SIMULATION	142
<i>a. Le carnet d'ordre</i>	143
<i>b. Evolution du Prix</i>	143
<i>c. Evolution du dividende</i>	145
<i>d. Historique de la table du jeu</i>	146
<b>4. GESTION DE L'HORLOGE</b>	146
<b>5. CONCLUSION</b>	147
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	149
<b>PERSPECTIVES</b>	151
<b>GLOSSAIRE</b>	153
<b>ANNEXES</b>	154
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	177
<b>WEB-GRAPHIE</b>	180



## **La Partie I : Etat de l'art**

## Plan du mémoire

Nous commençons par consacrer un chapitre à la présentation de l'objet de notre étude : Les marchés financiers. Nous présentons dans un premier temps leur origine, au travers de quelques brefs rappels historiques, puis nous présentons le fonctionnement de deux marchés: Euronext et Nasdaq, ce qui nous permet de introduire quelques concepts pratiques et théoriques. Cette présentation nous aide également à déterminer en quoi les marchés financiers sont des systèmes complexes et pourquoi leur étude passe presque nécessairement par la conception de modèles. Nous exposons ensuite les deux courants méthodologiques principaux utilisés pour étudier les systèmes complexes : les approches centrées groupe, qui abordent les marchés en se centrant sur leurs propriétés globales afin de déduire le fonctionnement de leurs parties, et les approches centrées individus, qui mettent l'accent sur les interactions locales existant entre les différentes parties du système afin de mieux comprendre son fonctionnement global. Cette présentation se fait d'abord dans un cadre général, puis nous mettons l'accent sur la simulation des marchés artificiels, les modélisations basées sur des équations mathématiques et les modélisations à base d'agents.

Dans le deuxième chapitre, nous abordons le concept fondamental d'agent en introduisant ses principales caractéristiques grâce aux définitions proposées par la communauté des chercheurs dans le domaine de l'intelligence artificielle distribuée. Nous exposons ensuite les systèmes multi-agents ainsi que quelques plateformes dédiées à leur développement.

Dans le troisième chapitre, nous traitons la théorie de signalisation par les dividendes en exposant les deux thèses concernant la neutralité du dividende, et en mettant l'accent sur la théorie des signaux et l'effet de la signalisation par le dividende sur le marché.

Dans le quatrième chapitre, nous abordons les concepts fondamentaux de la théorie des jeux évolutionniste qui est une discipline mathématique qui étudie les situations où le sort de chaque participant dépend non seulement des décisions qu'il prend mais également des décisions prises par d'autres participants. Ensuite nous voyons quelques modèles de jeux qui ont été utilisés dans la signalisation par le dividende.

Dans le cinquième chapitre, nous abordons le système de classeurs qui est un système qui permet l'acquisition d'une séquence d'actions, se présentant sous la forme de règles de production appelées classeurs, dans le but d'obtenir une récompense de l'environnement.

Dans la deuxième partie, nous présentons notre modèle de simulation de marché financier et en proposant une architecture globale de notre système. Nous voyons par la suite le détail de tous les composants de notre système (agents, etc.) ainsi que les données de l'environnement et les interactions en suivant la méthode VOYELLES et en utilisant le langage de modélisation UML et AUML pour les interactions entre les agents. Nous détaillons par la suite le système de classeurs des agents cognitifs de notre système (investisseurs, firmes) ainsi le détail des jeux choisis pour la modélisation des comportements des agents firmes.

Dans la dernière partie nous voyons l'implémentation du notre modèle et les résultats des tests que nous avons réalisés. En utilisant les outils suivants :

- Méthode de conception multi-agents : **VOYELLE**.
- Langage de modélisation : **UML** et **AUML**.
- Langage de programmation : **Java** sous l'environnement **JDeveloper**.
- Plateforme multi-agent : **JADE**.
- Bibliothèques java pour les systèmes de classeurs : **ART**.
- Bibliothèques java pour la visualisation de données à l'aide graphique à deux dimensions des "objets" : **Jfreechart 1.0.13**.
- SGBD : **Oracle 9i 2**.

#### **Annexes :**

- Annexe **A** : Le package **ART**.
- Annexe **B** : La plate-forme **JADE**.
- Annexe **C** : Le langage de modélisation **AUML**.

## Introduction générale

Depuis le début du XXème siècle, les marchés financiers ont donné lieu à un nombre considérable de recherches, tant fondamentales qu'appliquées. Bien que ces recherches s'inscrivent dans le cadre général de la finance, elles sont souvent interdisciplinaires. Cette interdisciplinarité s'explique sans doute par le fait que les marchés présentent de multiples facettes :

Ils peuvent être vus comme des objets d'études purement financiers (à travers l'étude des enjeux économiques qu'ils représentent), mathématiques (à travers l'étude des propriétés des séries de prix) ou humains (à travers l'étude de la psychologie des acteurs économiques qui y participent). Pourtant, aucune de ces disciplines n'arrive aujourd'hui à proposer une théorie complète, qui permettrait de surmonter la complexité des marchés et de les comprendre pleinement. Ceci s'explique probablement par le fait qu'il leur faudrait proposer un ensemble de théories intégrées, liant les aspects microscopiques, c'est-à-dire rendre compte du comportement des individus dans toute leur hétérogénéité, de leurs caractéristiques, de la manière dont ils interagissent ou sont organisés, aux aspects macroscopiques du système financier, par exemple la manière dont les prix fluctuent.

Devant ce manque d'unification entre les différents résultats sur les plans microscopiques et macroscopiques, un nouveau champ d'étude a fait son apparition à la fin des années 90 : la finance computationnelle. Cette nouvelle discipline est à la croisée de plusieurs domaines de recherche : l'informatique, la théorie des jeux et la finance. Elle propose un nouveau cadre pour étudier les marchés financiers : puisqu'il est si complexe de les étudier dans leur version réelle, peut-être est-il plus simple de reproduire leur fonctionnement dans des univers virtuels, parfaitement contrôlés. Ces univers sont reproduits grâce à des simulations informatiques que l'on nomme simulations multi-agents, et qui miment le fonctionnement des marchés et des investisseurs, permettant ainsi de tester des hypothèses ou de mettre à l'épreuve des théories, affranchis des contraintes qui rendraient ces expériences matériellement impossibles dans la réalité.

Notre travail est basé sur les stratégies de signalisation par le dividende pour une firme. L'utilité et la justification de la politique de dividende des sociétés fait partie des sujets les plus importants de la finance d'entreprise.

Les dividendes constituent un élément fondamental dans l'évaluation des entreprises par le marché et une composante importante de la rentabilité qui permet d'une part de fidéliser les actionnaires qui s'intéressent à un revenu élevé et, d'autre part, de véhiculer l'information entre les dirigeants, les actionnaires, l'entreprise et le marché. Nous mettons l'accent dans ce document sur le réalisme des modèles que nous utilisons : nous soutenons la thèse que, pour simuler le fonctionnement d'un marché financier, il faut prendre en compte la manière dont les agents économiques interagissent au travers du marché. Nous nous ancrons ainsi dans la tradition des systèmes multi-agents, qui est de développer des modèles de systèmes complexes, basés sur la prise en compte des interactions qui existent entre les différentes parties du système.

## Problématique

Les décideurs, managers, analystes financiers sont tous confrontés à la problématique de la complexité des marchés financiers et la difficulté de leur étude. Le développement de systèmes de simulation et d'analyse de ces marchés devient plus que nécessaire. Ces systèmes de simulation doivent donner des réponses à certaines questions comme par exemple :

- Qu'est ce qui se passe dans le marché quand les entreprises cotées en bourse utilisent la signalisation par le dividende pour manipuler les investisseurs et donc le marché ?
- Comment interpréter et utiliser l'information pour que les acteurs réalisent leurs objectifs?
- Sera -t- il intéressant de prédire la réussite de la signalisation par le dividende pour une firme donnée, et comment estimer les risques d'un dividende exagéré ?
- Comment performer les simulations réalisées pour qu'elles puissent considérer la signalisation par le dividende comme un facteur important de la variation des prix?

## Objectif

Les objectifs que nous avons fixé d'atteindre sont:

- Modélisation d'un marché financier qui répond aux normes d'un marché réel ;
- Construire et réaliser les acteurs de notre marché simulé: Agent-Marché, Agent-Investisseurs, Agent-Firmes et Agent-Spéculateurs ;
- Simuler notre système et étudier les résultats pour pouvoir juger les hypothèses posées et pour permettre aux analystes d'expliquer les déséquilibres des prix et donc prévoir les crises.
- Exploiter l'annonce du dividende et l'influence de l'information dans les marchés.



**Chapitre 01 : Les Marchés  
Financiers**

## 1. Introduction

Au cours de l'Histoire, les hommes ont toujours procédé à des échanges, que ce soit au travers de marchés ou d'enchères. Les grandes compagnies ont besoin d'un investissement de capitaux afin de lancer ou d'augmenter leur activités. Il est donc nécessaire de faire appel à des apports extérieurs de la société. Pour attirer les investisseurs, on leur propose donc, en échange de leur investissement monétaire, de devenir copropriétaires et leur attribuer certains droits.

Les marchés financiers ont vu le jour, dès le XV<sup>ème</sup> siècle [DER, 07], même s'il faudra attendre le XVIII<sup>ème</sup> siècle pour qu'ils existent dans leur forme moderne. Ces marchés ont d'abord pris la forme de places physiques où se réunissent des agents qui échangeaient des titres sous forme de documents physique, et se sont petit à petit développées jusqu'à devenir les places financières automatisées et informatisées, ce qui a eu des répercussions importantes sur leur fonctionnement. Les titres ont ainsi été dématérialisés et les horaires d'ouverture ont été considérablement élargis, ce qui explique l'augmentation considérable des volumes financiers échangés par jour.

Dans ce chapitre nous allons présenter les principaux marchés financiers, Les titres en jeu, et les différents acteurs agissants sur le marché.

Nous allons détailler le fonctionnement de quelque marché, en précisant le déroulement d'une journée dans chaque un d'eux, Ensuite nous allons mettre l'accent sur la simulation des marchés artificiels, les modélisations basés sur des équations mathématiques et les modélisations à base d'agents.

## 2. Généralités sur les marchés financiers

### 2.1. Définitions

Le **marché** est un système dans lequel les agents économiques (entreprises, individus) ont la liberté de vendre et d'acheter des biens, des services et des capitaux. Chacun agit alors en fonction de ses intérêts; le profit, considéré positivement, y figure comme la récompense du risque [WEB 02].

Un **marché financier** est un système articulé autour de procédures formalisées (les règles du marché) permettant à des agents économique de mettre des capitaux et d'autre moyens financiers à la disposition d'autre agents économiques en raison de leur besoin respectifs et de l'information dont ils disposent [DER, 07].

Les marchés financiers permettent une allocation efficace des ressources. La Bourse est tout d'abord un lieu de financement. Elle permet de financer les entreprises, d'épargner la richesse des investisseurs, de circuler la liquidité, d'évaluer l'économie...etc. [WEB 05].

## **2.2. Principaux marchés**

Dans le monde de la finance on a plusieurs marchés distingués par leurs volumes de transactions, les délais de règlement (court, moyen, et long terme) ainsi que le type des produits échangés, on peut citer le marché de taux d'intérêt (monétaire et obligataire), le marché d'actions, le marché de grains, le marché des métaux précieux, le marché des produits pétrochimiques, le marché de changes (Forex), marché d'immobilier ... etc.

On explique brièvement chaque un de ces marchés, cependant, le marché utilisé pour tout le travail présenté dans ce mémoire est le **marché d'actions** concrétisé par des immeubles appelés **bourses**.

### **2.2.1. Marché de taux d'intérêt**

Les marchés de taux d'intérêt sont les marchés de capitaux les plus importants du monde, loin devant le marché des changes et très loin devant celui des actions, non seulement par les volumes traités mais aussi par leur importance économique. Il est habituel de les séparer en marché monétaire pour le court terme et marché obligataire pour le moyen et long terme. [WEB 01].

#### ***a. Marché monétaire***

Marché sur lequel les agents économiques négocient entre eux leurs besoins et leurs excédents de capitaux à court terme. Il comprend le **marché interbancaire** où se rencontre l'offre et la demande de liquidités bancaires. Les établissements de crédit qui ont des excédents de trésorerie interviennent sur le marché interbancaire en tant que « prêteurs » alors que ceux qui sont déficitaires interviennent en tant que « emprunteurs » et le **marché de Titres de Créances Négociables** (TCN) ouvert à tous les agents économiques, il permet un accès facile des opérateurs aux marchés financiers. Il est ouvert à tous les opérateurs économiques.

#### ***b. Marché obligataire***

Le **marché obligataire** est un marché sur lequel l'investisseur achète une obligation (dette), il prête une somme d'argent à l'émetteur qui est l'emprunteur (vendeur de

l'obligation) et l'investisseur c'est le prêteur (acheteur de l'obligation) et bien sûr la durée du prêt se compte pour calculer les intérêts. Les obligations sont émises par des grandes banques et les emprunteurs en général sont des gouvernements et des entreprises. [WEB 03].

On distingue selon le taux, les types d'obligations suivant :

- ☞ Les obligations à taux fixes.
- ☞ Les obligations à taux variables.

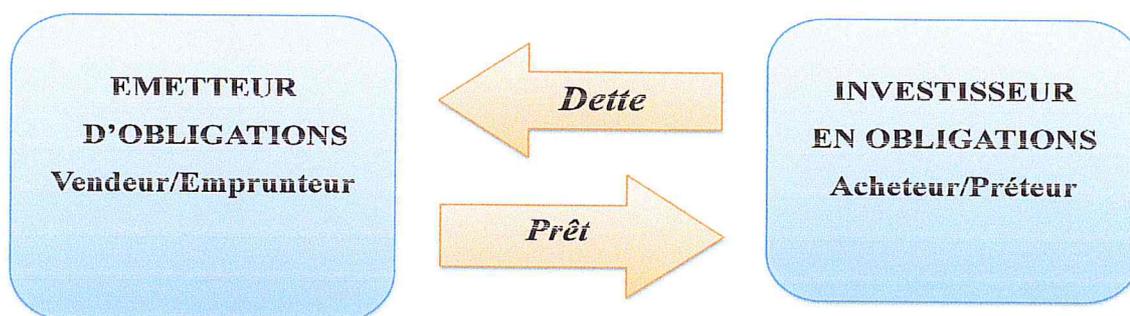


Figure 1: Les interactions dans le marché obligataire.

### 2.2.2. Marché d'actions

Appelé aussi la **bourse de valeurs** est le marché officiel et organisé sur lequel s'échangent les valeurs mobilières admises aux négociations [JOU, 05].

#### a. Que ce qu'une action ?

Une **action** est un titre de propriété [WEB 04] : en achetant une action, l'actionnaire devient propriétaire d'une partie de l'entreprise. La totalité des actions émises par une entreprise forme son capital, les actions pouvant être cotées en bourse. En possédant une action, l'actionnaire détient un droit sur la conduite des affaires de l'entreprise car il possède un droit de vote. Chaque actionnaire peut voter à concurrence du nombre de titres qu'il possède lors des Assemblées Générales, et un droit sur les bénéfices, le dividende, qui est une fraction des bénéfices engendrés par la société et reversée aux actionnaires. Enfin, il possède aussi un droit sur l'actif de l'entreprise : si la société est vendue, il recevra une somme proportionnelle au nombre de titres qu'il possède.

#### b. Typologie des marchés d'actions

Le fonctionnement du marché d'actions repose sur l'activité de deux compartiments dont les fonctions sont différentes et complémentaires : le marché primaire et le marché boursier ou marché secondaire [JOU, 05].

- **Le marché primaire**

Est celui des émissions de titres. Il met en relation les agents à déficit de financement c'est-à-dire les entreprises, les collectivités locales et l'Etat qui émettent des produits financiers (actions, obligations et autres produits), et les agents à surplus de financement, les épargnants, essentiellement les ménages, qui les souscrivent. Ce compartiment remplit une fonction de financement, d'allocation du capital.

- **Le marché secondaire**

Ne concerne que l'échange des valeurs mobilières déjà émises. Par exemple, un épargnant ayant souscrit à une émission d'obligations d'Etat peut souhaiter revendre ce titre acheté à l'Etat ; c'est sur le marché secondaire qu'il pourra réaliser cette opération. C'est donc sur ce marché secondaire que varient les prix des valeurs mobilières, appelés cours. Ces cours peuvent alors s'écarter considérablement du cours d'émission fixé par l'émetteur de valeur mobilières (marché primaires). Sur le marché secondaire, qui correspond au terme de « Bourse », l'émetteur n'intervient plus (sauf s'il souhaite racheter ses propres actions) puisque seules les offres et les demandes de titres déterminent les cours. A la Bourse, les titres déjà émis s'échangent contre de l'argent liquide.

*c. Que ce qu'une bourse ?*

La bourse est le lieu de rencontre de l'offre et de la demande, via un système de cotations centralisé. La Bourse a avant tout un rôle économique de premier ordre. Pour se financer, les entreprises ont deux solutions : soit emprunter de l'argent (marché obligataire), soit émettre des actions (marché d'actions). Lorsqu'elles choisissent cette deuxième solution, elles ont besoin de pouvoir rencontrer les investisseurs. C'est pour cette raison que la Bourse existe.

Comme sur un marché traditionnel, où des commerçants rencontrent des consommateurs, la Bourse est un marché où, au moment des introductions en Bourse, les sociétés émettrices de titres de capital (l'offre) rencontrent les investisseurs (la demande).

Une fois cotées en Bourse, la valeur de la société est équivalente à la confrontation des prix proposés par les acheteurs et les vendeurs. Ce prix d'équilibre représente ainsi la valeur de l'action cotée en Bourse [WEB 04].

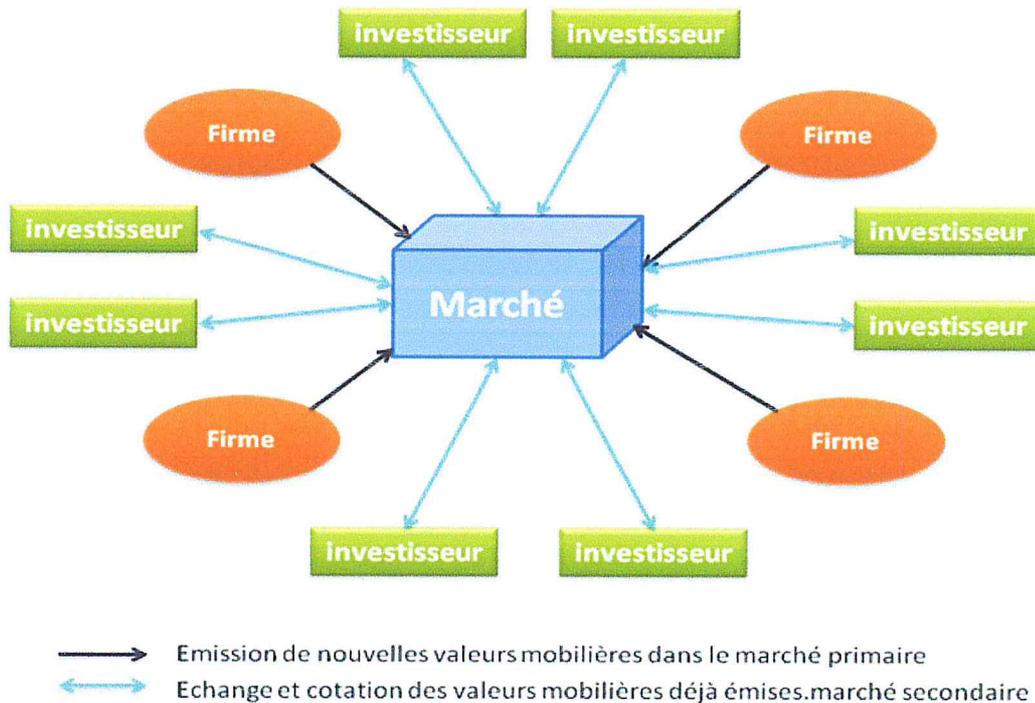


Figure 2: Structure globale d'un marché d'actions.

Après avoir présenté les principaux marchés financiers, voilà des statistiques estimées par **BRI** (*Bank for International Settlements*), pour Banque des règlements internationaux, concernant le volume échangé quotidiennement par marché en ordre décroissant [WEB 09].

Marché	Volume de transaction quotidien
Marché de taux d'intérêt et ses dérivés	8000 milliard \$
Marché de Forex et ses dérivés	1900 milliard \$
Marché d'actions	500 milliard \$

Tableau 1: Volumes des marchés financiers.

On remarque que le marché d'action est bien loin en termes de volume, cependant il est le plus **volatile** et **instable** et **médiatisé** vu qu'il est le plus accessible par le public, Les titres financiers.

### 2.3. Les titres

Les titres ou « valeurs mobilières » recouvrent l'ensemble des instruments de financement direct des entreprises, banques, Etats ou organismes publics. Un titre représente une part d'une créance à court ou moyen (**TCN**) ou long terme (**obligations**), ou une part du capital d'une entreprise (**actions**).

Pour l'émetteur du titre il s'agit d'un instrument de financement, pour l'acheteur c'est un instrument de placement. Les titres se négocient de gré à gré ou sur des marchés organisés par quantités variables, exprimées sous forme de nombres entiers (actions), ou en montant nominal pour les obligations.

Les titres sont des instruments négociables, c'est-à-dire qu'ils peuvent, changer de mains après leur émission, sur ce qu'on appelle le marché secondaire [WEB 07].

## **2.4. Les ordres**

La tendance des dernières années est clairement en faveur des marchés dirigés par les ordres, de par la transparence qu'ils procurent. Cependant, pour les valeurs les moins liquides, c'est-à-dire où le nombre et le volume des transactions sont réduits, des marchés dirigés par les prix continuent à subsister [WEB 08].

*Remarque : Le contenu de cette section est propre au marché européen Euronext, et il est référencé s'il n'est pas indiqué à [EUR, 07]. Pour pouvoir le généraliser aux autres marchés dirigés par ordre il faut d'abord s'assurer de leurs politiques.*

### **2.4.1. Définition**

Un ordre est la volonté d'un individu d'acheter ou de vendre un produit financier sur un marché boursier, il est en général transmis par un prestataire de services d'investissements, il peut être transmis par téléphone ou par internet [EUR, 07].

Pour passer un ordre dans une bourse il suffit d'être titulaire d'un compte chez un **intermédiaire** habilité à cet effet comme les entreprises d'investissement (sociétés de bourse ou sociétés de gestion de portefeuille), banques, caisses d'épargne....etc. Mais le fait d'avoir passer un ordre en bourse ne veut pas dire qu'on sera servi une fois que celui-ci sera exécuté par notre Intermédiaire. En effet sa réalisation est liée à la contrepartie qu'il trouvera sur le marché.

### **2.4.2. Structure**

Les ordres de bourse doivent comporter trois grandes séries d'indications nécessaires à leur bonne exécution.

#### **❖ Des indications générales :**

- Le code, appelé ISIN qui identifie les produits au comptant et notamment les actions, obligations. [WEB 11].
- Le sens de l'opération, achat ou vente,

- Le **nombre (quantité)** et le **nom (de l'entreprise)** des titres à négocier (actions, fonds cotés en bourse ou obligations ... etc.) S'il s'agit d'obligations, l'année d'émission et le taux d'intérêt.

❖ **La validité** : Elle peut prendre une des valeurs suivantes

- **Jour** : pour les ordres qui ne sont exécutables que pendant la journée en cours et qui seront retirés du marché en cas de non-exécution, les ordres sont enregistrés comme ordres *jour* Par défaut.
- **à date déterminée** : sauf exécution ou annulation par vos soins, ces ordres resteront présents sur le marché jusqu'au jour indiqué, sans que ce jour puisse dépasser un an.
- **à révocation** : ils restent valables, sauf exécution ou annulation, pendant 1 an.

❖ **Des conditions de prix** :

- à cours limité.
- au marché.
- à la meilleure limite.
- à seuil de déclenchement.
- à plage de déclenchement.

### 2.4.3. Le carnet d'ordre

Tous les ordres d'achat et de vente sont entrés dans le carnet d'ordres central. Pour chaque valeur, ils sont classés par limite de prix et, à chaque limite, chronologiquement, au fur et à mesure de leur enregistrement sur ce que l'on appelle une **feuille de marché**.

#### *a. Définition*

Le carnet d'ordres est tout autant un recueil des ordres du marché qu'un outil pour celui qui sait le lire. Le carnet d'ordres a une fonction première de recueil des ordres sur un titre. Tous les ordres y sont répertoriés. Le carnet d'ordre enregistre électroniquement les ordres d'achat et de vente, dans l'attente de leur exécution, selon leur priorité. Le **carnet d'ordres** figure sur les écrans de négociation des opérateurs de marché [WEB 06].

Le système informatique de cotation préserve l'égalité des clients en assurant :

- L'accès instantané au marché et à l'information pendant toute la journée, quel que soit l'endroit d'où ils opèrent.
- L'exécution quasi immédiate et automatique de leurs ordres par application de deux règles de priorité :
  - **par le prix** : tout d'abord. Un ordre d'achat avec une limite supérieure est servi avant tous les ordres libellés à des prix inférieurs. Inversement, l'ordre de vente avec la limite la plus basse est exécutée avant ceux libellés à des prix plus élevés.
  - **par le temps** : ensuite. Deux ordres de même sens et au même prix sont exécutés dans leur ordre d'arrivée.

#### *b. Les limites du carnet d'ordres*

Le carnet d'ordres présente quelques limites, on peut citer :

- Ce carnet d'ordre qui **recèle moins d'information qu'il en a l'air**, sans compter ceux qui s'amusent à passer de faux ordres totalement décalés en prix pour manipuler les cours.
- Certains ordres portent sur des volumes importants alors qu'ils sont moins significatifs aux lecteurs du carnet.
- Il est rare d'avoir accès au carnet d'ordre actualisé en temps réel.

#### **2.4.4. Types d'ordres**

Certains investisseurs privilégient la rapidité d'exécution au risque d'un prix plus élevé à l'achat et plus bas à la vente, d'autres permettent de privilégier le prix quitte à retarder l'exécution, faute d'une contrepartie suffisante à ce prix.

L'investisseur peut choisir différents types d'ordres en fonction du prix auquel il est prêt à acheter ou à vendre les titres visés. Ces types sont les suivants :

*Remarque : Pour tous les exemples présentés dans cette section on suppose un état d'un carnet d'ordre, et on donne l'état suivant après qu'un client passe un ordre d'achat de type X de 100 actions. Ces exemples couvrent tous les cas possibles.*

##### *a. L'ordre au marché*

###### ❖ **Définition**

C'est un type d'ordre de bourse, d'achat ou de vente, qui ne précise aucun prix de transaction. L'acheteur ou le vendeur est prêt à acquérir ou céder son titre au meilleur

prix du marché contenu dans le carnet d'ordre de la valeur. Il marque une volonté pour l'acheteur ou le vendeur d'effectuer sa transaction dans le laps de temps le plus court possible. Un ordre au marché est en effet prioritaire sur tous les autres types d'ordres de bourse existant. L'inconvénient de ce type d'ordre est que l'on ne peut connaître le prix auquel on effectue la transaction qu'une fois la transaction effectuée. En effet, la cotation de la valeur dans le carnet d'ordres évoluant sans cesse, le cours de celle-ci peut évoluer entre la passation d'ordre et le moment où l'ordre est exécuté. [WEB 12].

❖ Exemple :

Achat		Vente		Derniers échanges		
quantité	limite	limite	quantité	heure	quantité	cours
40	61,05	61,10	10	11 h 10	50	61,10
10	61,00	61,15	30	11 h 10	150	61,05
30	60,95	61,20	30	11 h 09	30	60,95
10	60,90	61,25	20	11 h 08	10	61,00
20	60,85	61,30	40	11 h 08	30	60,95

Tableau 2: Carnet d'ordre avant l'exécution d'un ordre au marché.

Achat		Vente		Derniers échanges		
quantité	limite	limite	quantité	heure	quantité	cours
40	61,05			11 h 11	10	61,30
10	61,00			11 h 11	20	61,25
30	60,95			11 h 11	30	61,20
10	60,90			11 h 11	30	61,15
20	60,85	61,30	30	11 h 11	10	61,10

Tableau 3: Carnet d'ordre après l'exécution d'un ordre au marché.

**b. L'ordre à cours limité**

❖ Définition

Est un type d'ordre de bourse. L'acheteur ou le vendeur précise une limite de cours, au dessus ou en dessous de laquelle il est prêt à acquérir ou vendre le titre. Ainsi, au contraire de l'ordre au marché, le prix de la transaction est connu d'avance mais l'acheteur ou le vendeur ne connaît pas le moment où son ordre sera exécuté. L'ordre peut même dans certains cas ne jamais être exécuté si la limite n'est pas atteinte. Ce type ne garantit pas non plus une contrepartie. En effet, si la limite est atteinte, mais que la quantité que propose la contrepartie n'est pas suffisante, l'ordre ne sera alors qu'exécuté partiellement. [WEB 10]. .

### c. L'ordre à la meilleure limite

#### ❖ Définition

Est un type d'ordre de bourse, d'achat ou de vente, qui est proche de l'ordre au marché. Au même titre que ce dernier, l'investisseur ne connaît pas le prix auquel la transaction sera effectuée. Dans le cas d'un achat, l'acheteur verra son ordre exécuté au prix du premier vendeur (prix le plus intéressant pour l'acheteur). Cependant, et c'est là où il diffère de l'ordre au marché, il peut arriver que la contrepartie ne dispose pas de la quantité demandée. Ce type d'ordre est alors exécuté partiellement et la quantité demandée restante se transforme en un ordre à cours limité qui sera réinjecté. [WEB 10].

### d. Comparaison entre les types d'ordres

ORDRE	UTILITE	EXECUTION	NOTE
<b>Au marché</b>	Permet d'acheter ou de vendre sans condition de prix.	Totales dès qu'il y a cotation de la valeur.	Ordre prioritaire ; à n'utiliser que sur les valeurs liquides
<b>A la meilleure limite</b>	Permet d'obtenir le meilleur prix lors de l'arrivée de l'ordre sur le marché.	Peut être partielle puisque l'ordre est traité comme un ordre à cours limité.	Aucune maîtrise du prix.
<b>A cours limité</b>	Permet de maîtriser le prix.	Peut être partielle.	Ordre le plus classique.

Tableau 4: Les différents types d'ordres.

## 2.5. Les intervenants sur le marché financier

D'une manière générale, on trouve les personnes (physiques ou morales) dans les marchés financiers. Les intervenants qui ont une activité économique pure comme:

- **Les émetteurs de titres** : qu'ils soient publics ou privés et ayant un besoin de financement de leurs activités
- **Les investisseurs** : se sont soit des Banques d'investissement soit des Investisseurs institutionnels ou simplement des particuliers.

Les intervenants qui veillent sur le bon fonctionnement au sein du marché comme :

- **Les intermédiaires financiers** : Comme les entreprises d'investissement, les courtiers en ligne.

- **Les instances de supervision** : aussi connus sous le nom des autorités des marchés financiers, elles assurent la stabilité financière et veillent sur l'application des règlements.

## 2.6. Les marchés dirigés par le prix vs les marché dirigés par l'ordre

### 2.6.1. Exemples de marchés dirigés par le prix : NASDAQ

Le Nasdaq (National Association of Securities Dealers Automated Quotations) est un marché dirigé par les prix. Sur un marché dirigé par les prix, les traders ne se rencontrent pas directement au travers du marché mais doivent passer par un intermédiaire : le teneur de marché ou *market maker*, a partir de 2002, il est transformé en un marché.



#### a. Conditions du marché

Une entreprise candidate au NASDAQ National doit respecter les conditions suivantes :

- Offrir 1,1 millions de titres au public
- Ces titres doivent avoir une capitalisation boursière d'au moins 8 millions de dollars.
- Le nombre d'actionnaires détenant plus de 100 titres doit être supérieur à 400.
- Le titre doit avoir au moins 3 teneurs de marché.

L'entreprise n'est pas obligée de dégager de bénéfice, mais dans ce cas, elle doit exister depuis au moins 2 ans, et avoir une capitalisation boursière d'au moins 18 millions de dollars.

	Règles de fonctionnement
Heures d'ouverture	9 h 30 à 16 heures. Service minimal entre 16 h et 18 h 30
Cotation	Continue
Règlement	Comptant
coupe-circuits	Fermeture des marchés si le recul du Dow Jones >30%

Tableau 5: Règles de NASDAQ.

### ***b. Fonctionnement du marché***

Sur un marché dirigé par les prix, les teneurs de marché sont tenus d'afficher en permanence deux informations : un prix auquel ils sont prêts à acheter des titres pour une quantité fixée et un prix auquel ils sont prêts à vendre des titres pour une quantité fixée. Si un acteur du marché se porte acquéreur ou vendeur de titres aux prix affichés, le market maker est dans l'obligation d'exécuter son ordre. Le teneur de marché produit donc de la liquidité sur son propre stock d'actifs, c'est à dire qu'il permet des échanges au travers de son portefeuille.

Les particuliers peuvent passer deux types d'ordre différents sur le Nasdaq : des ordres à tout prix (market orders) ou des ordres limités. Il est à noter que sur le Nasdaq, contrairement à Euronext, la règle priorité de temps pour les ordres limités ne s'applique pas.

#### **2.6.2. Exemple de marchés dirigés par ordres : Euronext**

C'est un marché dirigé par ordres, Euronext est l'une des grandes bourses de valeurs mondiale. Elle est le produit de la fusion des bourses de Paris, Amsterdam, Bruxelles, Lisbonne, Porto et du LIFFE (*London International Financial Futures and options Exchange*) qui a eu lieu entre 2000 et 2002.

Bien qu'Euronext soit une seule société, elle est divisée pour des raisons juridiques en plusieurs places démarchées distinctes, chacune correspondant à un pays, Euronext Paris est la place de marché française [DER, 07].

#### ***a. Fonctionnement général***

Euronext est un marché dirigé par les ordres, c'est à dire que les acteurs du marché confrontent directement leurs désirs de réaliser des échanges à travers la structure d'échange, sans passer par un intermédiaire. Pour confronter leur souhait à ceux des autres acteurs, ils émettent un *ordre*. Une fois émis, cet ordre est confronté aux ordres émis antérieurement, qui sont stockés dans le *carnet d'ordres* et exécutés comme on l'a expliqué précédemment. Le déroulement d'une journée de cotation sur Euronext est présenté dans le tableau suivant :



Horaire	Evénement	Détails
07 <sup>h</sup> 15-09 <sup>h</sup> 00	Pré-ouverture.	Accumulation des ordres dans le carnet sans réalisation effective des transactions.
09 <sup>h</sup> 00	Fixing d'ouverture.	L'ordinateur détermine le prix d'équilibre à l'ouverture qui permet l'échange du plus grand nombre de titres.
09 <sup>h</sup> 01-17 <sup>h</sup> 25	Fonctionnement continu.	L'ouverture d'un nouvel ordre établit une nouvelle cotation si la transaction correspondante peut être réalisé (s'il existe une contrepartie) sinon l'ordre est enregistré et placé à sa limite dans le carnet.
17 <sup>h</sup> 25-17 <sup>h</sup> 30	Pré-clôture.	Accumulation des ordres sans réalisation de transaction.
17 <sup>h</sup> 30	Fixing de clôture.	Confrontation de tous les ordres restants, pour déterminer le prix de clôture.
17 <sup>h</sup> 30-17 <sup>h</sup> 40	Dernières échanges.	Possibilité de réaliser quelques derniers échanges au prix déterminé lors de fixing de clôture.

Tableau 6: Déroutement d'une journée à Euronext.

### 3. Modélisation des marchés financiers artificiels

Bien avant l'avènement des simulations informatiques au milieu des années 80, de nombreux chercheurs ont développé des modèles pour capturer le fonctionnement des systèmes complexes auxquels ils s'intéressaient. Cette modélisation s'est souvent réalisée avec les outils alors à leur disposition, c'est-à-dire avec des techniques issues des mathématiques ou de la physique.

#### 3.1. Modélisations centrées groupe

Dans cette partie, nous nous intéressons aux applications des théories centrées groupes au domaine des marchés financiers, qui ont été développées pour prédire l'évolution des dynamiques de prix dans le temps. Parmi ces modèles on trouve le modèle de Lotka et Volterra qui explique les limites de l'approche centré groupe en projetant le système financier sur la nature.

##### ❖ *Modèle de Lotka et Volterra*

C'est un modèle permettant de capturer les dynamiques d'un système biologique dans lequel deux espèces animales interagissent, l'une en tant que proie et l'autre en

tant que prédateur. Ce modèle est basé sur 2 équations différentielles, présentées à la **Figure 03**, en fonction des taux de natalité, de mortalité et de prédation de deux espèces. Ces deux équations illustrent typiquement la philosophie des modèles centrés groupe : à partir de quelques équations simples, il est possible de décrire l'évolution complète d'un système complexe. Mais la limite ce qu'ici la modélisation est réalisée à l'aide de variables *continues*, ce qui est problématique puisque le sujet modélisé est *discret*.

Le deuxième défaut majeur des modèles top-down est leur manque de pouvoir explicatif. En effet, même s'il est possible de reproduire fidèlement les dynamiques macroscopiques d'un système à l'aide d'équations, il est quasiment impossible, à partir d'une dynamique résultante du modèle, d'expliquer *pourquoi* ou *comment* une telle dynamique peut survenir.

Où :

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = x(\alpha - \beta y) \\ \frac{dy}{dt} = -y(\gamma - \lambda x) \end{cases}$$

- $y$  est le nombre de prédateurs ;
- $x$  est le nombre de proies ;
- $t$  est le temps ;
- $\alpha$  est le taux de natalité des proies ;
- $\beta$  est le taux de prédation ;
- $\gamma$  est le taux de mortalité des prédateurs ;
- $\lambda$  représente l'impact de la prédation sur l'évolution du nombre de prédateurs.

*Figure 3: Système d'équations proposées par Lotka et Volterra pour la modélisation d'une interaction proie/prédateur entre deux espèces animales.*

### **3.2. Modélisations centrées individu**

Les modèles centrés groupe ne permettaient pas de prendre en compte les caractéristiques individuelles des acteurs du système modélisé, ni de travailler dans un univers discret, plus proche de la réalité. C'est pourquoi de nombreux chercheurs ont essayé de développer des alternatives aux modèles centrés groupes : les modèles centrés individus [MAT, 05].

Les modèles centrés individus mettent les acteurs du système au cœur du modèle : Chaque partie du système est modélisée de manière individuelle, ainsi que ses relations avec les autres entités. Ces modèles permettent de s'affranchir d'une des hypothèses les plus contraignantes des modèles centrés groupes : l'homogénéité des propriétés et des comportements des acteurs du système. En effet, en se plaçant au niveau de l'individu, il n'est plus nécessaire de réduire son comportement à celui d'un individu représentatif ou à un comportement moyen : chaque acteur du système dispose de ses propres caractéristiques. Cette granularité fine permet notamment de modéliser des individus particuliers, qui sortent de l'ordinaire ou de la moyenne, afin d'étudier, par exemple, leur influence sur la dynamique globale du système. De plus, il est possible de tenir compte des liens particuliers (géographiques, sociaux, etc.) qui unissent certains de ces individus en particulier et ainsi d'étudier plus finement quelles peuvent être les conséquences d'interactions locales entre les individus d'une population sur la dynamique globale d'un système. La modélisation de chaque partie du système permet également de fonctionner avec des variables *discrétisées*, ce qui permet d'éviter les problèmes liés aux variables continues que nous avons évoqués par la modélisation centré groupe.

L'application de cette modélisation sur les marchés financiers permet de distinguer deux nouveaux types selon la fixation du prix: les modèles synchrones et les modèles asynchrones.

### **3.2.1. Les modèles synchrones**

Qui nécessitent de récolter les souhaits de tous les agents avant la production d'un prix, parmi les modèles synchrones il y a Santa Fe artificial stock market.

### **3.2.2. Les modèles asynchrones**

Qui n'imposent pas de contraintes temporelles aux agents, parmi les modèles asynchrones on trouve le modèle de Roberto Andal.

❖ *Les différences les plus importantes entre ces deux types sont :*

- Le facteur du temps (les instants de l'achat et de la vente) joue le rôle de la grande différence entre ces deux modèles, parce que le modèle synchrone se base sur ce facteur en agrégeant les signaux émis par les agents(les agents expriment tous leurs désirs en même temps), mais l'asynchronisme n'impose aucune contrainte

temporelle aux agents(les agents peuvent inscrire leurs offres ou demandes à tout moment où le marché est ouvert). [MEN, 09].

- Deuxième différence qu'on constate c'est la compatibilité du mode asynchrone avec la réalité, les principes du commerce et le comportement des investisseurs. Les investisseurs peuvent prendre leurs décisions à n'importe quel moment, en réagissant au monde extérieur et les changements des prix. [MEN, 09].
- Les investisseurs veulent trouver des solutions rapides pour acheter ou liquider leurs titres alors l'asynchronisme propose cette idée que l'on ne trouve pas dans l'autre modèle. [MEN, 09].
- La situation de blocage dans laquelle le Market Maker (synchronisme) se trouve des fois, n'est pas présente dans l'asynchronisme parce que la liberté d'inscrire les titres des acteurs est une parmi les caractéristiques de l'asynchronisme. [MEN, 09].
- L'avantage du modèle synchrone est dans sa simplicité et la facilité pour le mettre en œuvre relativement au modèle asynchronisme. [MEN, 09].
- Le marché synchrone est géré par le prix, mais le marché asynchrone est géré par l'ordre. [MEN, 09].
- Les marchés synchrones sont discrets (temps), les marchés asynchrones sont continus. [MEN, 09].

#### **4. Conclusion**

La présentation des marchés financiers artificiels nous a permis de comprendre en quoi les marchés financiers sont des systèmes complexes, et pourquoi les étudier, les modéliser, les simuler et comprendre leur fonctionnement est un problème difficile.

Le recours aux systèmes multi-agent s'avère incontournable pour la modélisation et l'analyse de ces marchés

Nous traitons dans le prochain chapitre la base de la modélisation centrée individu, les systèmes multi-agents.



**Chapitre 02 : Les Systèmes  
Multi-Agents**

## 1. Introduction

La révolution de la pensée économique engendrée par les travaux de Simon a causé le délaissement des modèles mathématiques en faveur de nouvelles approches de modélisation des systèmes économiques, nous pouvons citer comme exemple *la simulation multi-agents*. Contrairement aux modèles mathématiques, la simulation multi-agents tient compte à la fois du niveau micro (firmes) et du niveau macro (les formes organisationnelles).

L'avantage de l'utilisation des systèmes multi-agents est de montrer comment les phénomènes collectifs surgissent à partir de l'interaction et de l'adaptation d'une population d'agents autonomes et hétérogènes. Ces modèles basés sur les agents sont aussi utilisés comme outils d'aide à la décision par les managers des firmes. Ils leur permettent de tester plusieurs configurations de marché et d'étudier les conséquences des actions individuelles des firmes sur ce marché.

Nous abordons dans ce chapitre les concepts fondamentaux d'agents, les différentes définitions, caractéristiques, différentes architectures et les principaux types d'agents. Ensuite nous voyons les systèmes multi-agents (SMA), leurs émergences de l'intelligence artificielle distribuée et leurs domaines d'applications.

En fin, nous mettons l'accent sur l'intérêt des SMA, les points forts de ces systèmes et les nouveautés apportées par ces derniers, ainsi que les raisons pour lesquelles nous avons opté pour le choix de cette solution pour concevoir notre propre Système de simulation du marché boursier.

## 2. Agent

Les 'agents' sont les principaux composants des SMA. chacun d'entre eux est une entité autonome chargée d'accomplir une tâche bien précise.

### 2.1. Définitions

Plusieurs définitions d'agents existent, les définitions diffèrent selon le domaine d'utilisation et les caractéristiques des systèmes.

Le terme « Agent » est utilisé de manière assez vague, cependant quelques définitions précises existent dont voici quelques unes :

- Un agent est une entité logicielle ou physique à qui est attribuée une certaine mission qu'elle est capable d'accomplir de manière autonome ou en coopération avec d'autres agents [BRI, 01].

- Un agent est une entité physique ou virtuelle [FER, 95].
  - Capable d'agir dans un environnement,
  - Pouvant communiquer directement avec d'autres agents,
  - Régie par un ensemble de tendances (sous la forme d'objectifs individuels ou d'une fonction de satisfaction, voire de survie, qu'elle cherche à optimiser),
  - Possédant des ressources propres,
  - Capable de percevoir (mais de manière limitée) son environnement,
  - Ne disposant que d'une représentation partielle de cet environnement (et éventuellement aucune),
  - Possédant des compétences et offrant des services,
  - Pouvant éventuellement se reproduire,
  - Dont le comportement tend à satisfaire ses objectifs, en tenant compte des ressources et des compétences dont il dispose, et en fonction de sa perception, de ses représentations.

## 2.2. Le comportement d'un Agent

Le comportement d'un agent est souvent représenté par le cycle de vie : *Perception, Décision, Action*. L'agent perçoit son environnement lors de la phase de perception. Il décide alors des actions qu'il va effectuer en fonction de ce qu'il a perçu et de ses connaissances. L'agent termine son cycle en réalisant les actions qu'il a choisi lors de la phase de décision. [BIB 01].

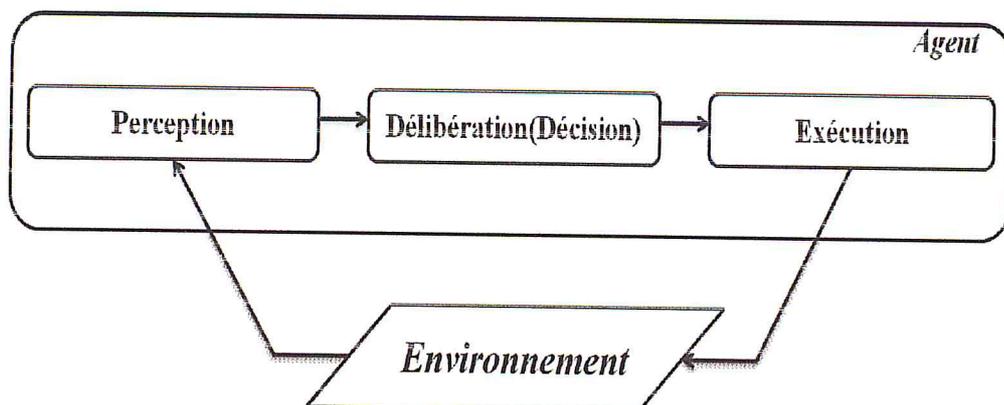


Figure 4: La représentation du Cycle de vie d'un Agent.

## **2.3. Caractéristiques**

Nous retrouvons parmi les caractéristiques des agents, quelques caractéristiques de base telles que la communication ainsi que d'autres caractéristiques bien particulières aux agents, telles que la sociabilité, la réactivité ... etc.

### **2.3.1. La Communication**

La communication est une caractéristique essentielle des agents. Elle est également la base de la coopération entre agents. Un agent peut demander un service auprès d'un autre agent en lui envoyant des messages [BAR, 03]. Cette caractéristique est la base du comportement social des agents. Cependant, des difficultés majeures existent en termes de standards et langage de communication ... etc.

### **2.3.2. L'Apprentissage**

Les agents ont la capacité d'apprendre tout au long de leur existence. Cet apprentissage leur permet d'évoluer et même de changer leurs comportements [BOI, 01a].

### **2.3.3. L'Autonomie**

L'agent doit être autonome, il doit agir seul et seulement en fonction des signaux qu'il reçoit des autres agents ou de l'environnement. Il gère son état interne en fonction de ces informations [PIC, 04].

### **2.3.4. La Sociabilité**

Généralement les agents sont organisés en communautés. Une communauté impose des relations entre ses constituants. De ce fait, les agents sont amenés à négocier, coopérer pour la résolution de problèmes. La sociabilité est basée sur des interactions entre agents, qui se font grâce à des standards de communication qui seront détaillés par la suite [BOI, 01b].

### **2.3.5. La Réactivité**

Cette propriété se résume au fait que l'agent réagit en fonction de ce qui se passe dans son environnement. L'agent possède des capteurs (senseurs) lui permettant de recevoir des informations de l'environnement ou des autres agents, et en fonction de ces informations il peut agir via des actionneurs (effecteurs).

### 2.3.6. La Pro-activité

Un agent peut également réagir en fonction de ce qu'il doit accomplir, ce type d'agents est doté d'une certaine intelligence et connu sous le nom d'agents cognitifs et sera détaillé par la suite.

### 2.4. La représentation d'un agent

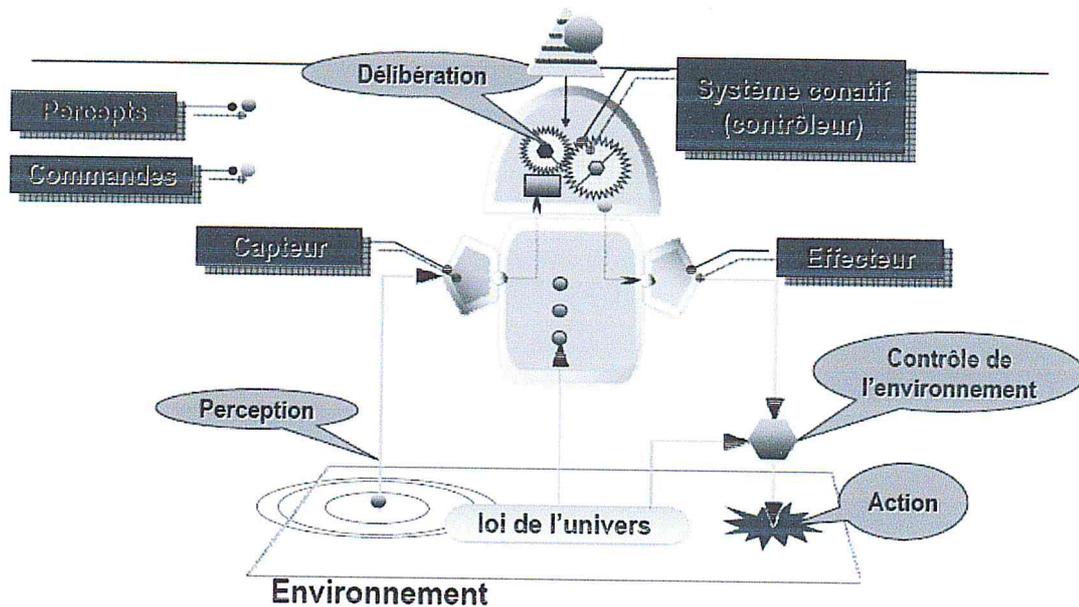


Figure 5: Représentation d'un agent.

- **Perception** : c'est dans le cas où l'environnement influence sur l'agent.
- **Capteur** : capte les informations provenant de l'environnement.
- **Action** : dans le cas où l'agent influence sur l'environnement.
- **Effecteur** : l'agent influence l'environnement.

### 2.5. Les types d'Agents

En fonction de ce que perçoit l'agent comme situations, il peut réagir. S'il s'agit d'une situation familière pour l'agent, pour laquelle il connaît 'parfaitement' l'action à effectuer il s'agit d'un agent *réactif*. Par contre, si cette situation est familière pour l'agent mais il lui faut un certain 'raisonnement' pour la résoudre, il s'agit dans ce cas là d'un agent *cognitif* [DAS, 03].

#### 2.5.1. Agents Réactifs

Ce type d'agents se caractérise par le fait qu'il n'ont pas de représentation de leur environnement, ni du monde auquel ils appartiennent. Ces agents sont les plus

simples à mettre en œuvre du fait qu'ils se comportent selon le stimulus. L'agent sera programmé sous forme de couples « Stimulus/Réponse » [PIC, 04].

Généralement les agents réactifs sont considérés comme non ou peu intelligents, et nous considérons que l'intelligence émerge de la coopération des différents agents. Ces derniers sont de plus bas niveau et n'ont qu'un protocole et un langage de communication réduits [BRI, 01].

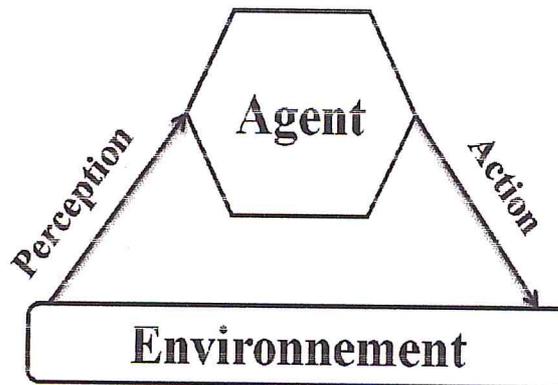


Figure 6: Un Agent réactif.

Selon les défenseurs de cette approche, il n'est pas nécessaire que les agents soient intelligents pour que le système ait un comportement global intelligent. Les meilleurs exemples de ce genre de systèmes constitués d'entités de faible intelligence mais dont la coopération conduit à des systèmes très intelligents, sont les sociétés d'insectes (Fourmies).

### 2.5.2. Agents Cognitifs

A l'inverse des agents réactifs, les agents cognitifs sont en général dotés d'une certaine intelligence et une parfaite représentation de l'environnement et du monde auquel ils appartiennent. Les sociétés d'agents cognitifs sont généralement constituées d'un petit nombre d'agents. Ces agents sont semblables à des systèmes experts et sont des agents communicants [DEM, 93]. Ces agents ont une représentation très précise de leur environnement. Chaque agent possède des connaissances comprenant des informations et du savoir faire. Les agents cognitifs sont dit intentionnels car ils ont des buts à accomplir, avec une certaine intelligence artificielle et une capacité d'apprentissage et d'adaptation.

Est une extension de KQML. ACL a été développé par la FIPA en 1995. ACL est un ensemble de performatifs, et plus d'attributs.

### 3. Les Systèmes Multi-Agents

L'utilisation d'un agent individuellement ne répond souvent pas aux attentes. En effet, des problèmes plus complexes nécessitent l'utilisation de divers agents, chacun ayant un objectif, et ce n'est qu'en les faisant coopérer qu'on arrive à des solutions plus efficaces. Une autre contrainte est le fait que des problèmes sont de manière inhérente distribués (ex : gestion décentralisée d'un réseau électrique), et donc seule une solution distribuée peut résoudre ce genre de problèmes [RIC, 01].

Un système multi-agents est assimilable à un système distribué composé d'agents. On appelle système multi-agent (SMA), un système composé des éléments suivants:

- Un environnement **E**, c'est-à-dire un espace disposant généralement d'une métrique.
- Un ensemble d'objets **O**. Ces objets sont situés, c'est-à-dire que, pour tout objet, il est possible, à un moment donné, d'associer une position dans E. Ces objets sont passifs, ils peuvent être perçus, créés, détruits et modifiés par les agents.
- Un ensemble **A** d'agents, qui sont des objets particuliers ( $A \subseteq O$ ), lesquels représentent les entités actives du système.
- Un ensemble de relations **R** qui unissent des objets entre eux.
- Un ensemble d'opérations **Op** permettant aux agents de A de percevoir, produire, consommer, transformer et manipuler des objets de O.
- Des opérateurs chargés de représenter l'application de ces opérations et la réaction de l'ensemble des constituants du SMA à cette tentative de modification, que l'on appellera les lois de l'univers multi agents.

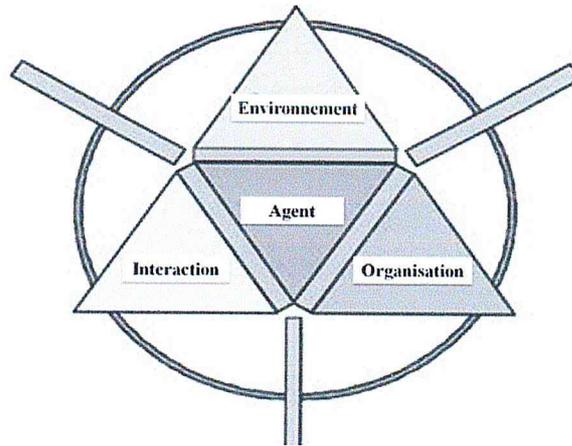


Figure 8: Représentation d'un système multi agents.

Cette définition des systèmes multi-agents a été donnée par Ferber en 1995, elle n'a pas été remise en cause depuis ce temps [FER, 95].

### 3.1. Méthodologies de conception des SMA

#### 3.1.1. VOYELLE « AEIOU »

L'équipe de recherche MAGMA a donné une approche simple pour la conception des systèmes multi-agents connue sous le nom d'approche voyelles [TAN, 05]:

- **Agent** : Les agents sont les composants les plus élémentaires d'un SMA.
- **Environnement** : L'espace regroupant les agents.
- **Interaction** : Tous les mécanismes de communications (langages, protocoles et infrastructures) permettant une interaction entre les agents.
- **Organisation** : La structure des agents en définissant les liens hiérarchiques et les relations entre agents.
- **Utilisateur.**

L'approche voyelle est régie par trois principes :

- **Principe déclaratif** : Qui est la décomposition précédente des SMA en quatre briques ( $SMA = A \cup E \cup O \cup I$ ).
- **Principe fonctionnel** : Qui regroupe les fonctionnalités des agents considérés individuellement, auxquelles on rajoute les fonctionnalités résultantes des interactions entre ces derniers.
- **Principe de récursion** : Les SMA peuvent être considérés dans un niveau d'abstraction supérieur comme des entités multi agents.

Cette approche voyelle est la plus utilisée pour sa simplicité et son organisation hiérarchique.

### 3.1.2. AGR (Agent/Groupe/Rôle)

Ce modèle proposé par Jaques Ferber est basé sur un concept simple : on suppose qu'un **agent** possède un ou plusieurs **rôles**, l'agent appartient à un ou plusieurs **groupes**, et un groupe contient un ou plusieurs rôles. [DAT, 06].

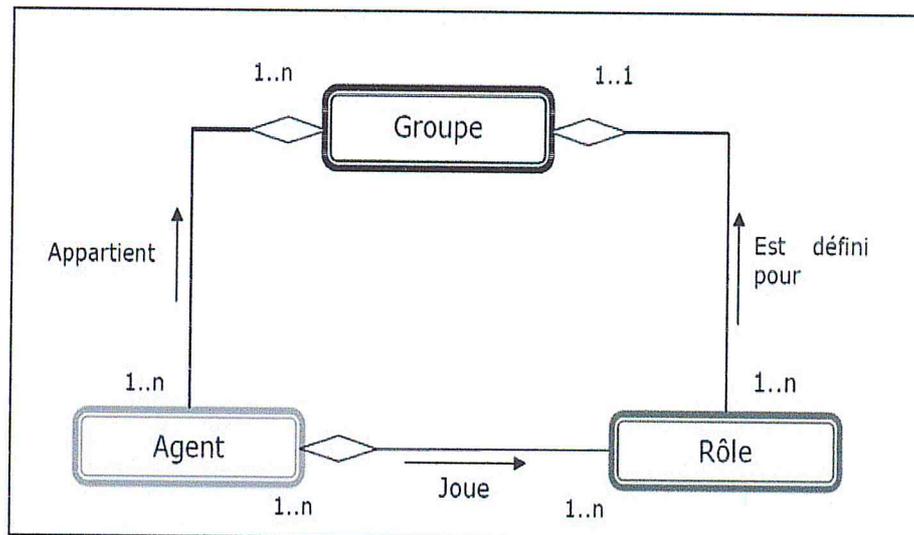


Figure 9: La méthodologie AGR.

- **Un agent** : est une entité communicante qui joue un ou plusieurs rôles dans des groupes (un ensemble atomique d'agents). Chaque agent peut appartenir à différents groupes et les groupes peuvent se chevaucher.
- **Un rôle** : dans AGR, est une représentation abstraite de la fonction, du service ou tout simplement d'identificateur d'un agent au sein d'un groupe. Chaque agent peut tenir plusieurs rôles, mais chaque rôle est spécifique à un groupe. La communication entre les agents est possible grâce aux rôles qu'ils assument et le contrôle sur les communications est effectué par le groupe.
- **Un groupe** : c'est un ensemble d'agents partageant une caractéristique.

Les principales étapes de cette méthode sont :

- **L'analyse** : qui permet d'identifier les fonctions du système et les dépendances au sein de communautés identifiées ; il convient de définir quels sont les mécanismes de coordination et d'interaction entre les entités d'analyse ;

- **La conception** : qui contient l'identification des groupes et des rôles dans des diagrammes de structures organisationnelles ;
- **La réalisation** : qui commence par le choix de l'architecture d'agents suivie de la gestion des entités du domaine qui permet d'implanter le système à partir d'organisations concrètes.

### 3.2. Avantage des systèmes multi-agents

L'utilisation des systèmes multi-agents (SMA) est quelques fois obligatoire. Quand on se retrouve face à des problèmes qui imposent un tel choix. Cependant, nous pouvons choisir d'utiliser des SMA pour les raisons suivantes [DRO, 05]:

- Les SMA reflètent la réalité : la majorité des problèmes sont distribués qui s'adapte facilement aux SMA.
- Diversité : Les SMA peuvent avoir parmi les agents les constituants une grande diversité, ce qui donne la possibilité aux concepteurs d'intégrer différents agents (réactifs, cognitifs ... etc.)
- Coopération : Les systèmes entre eux peuvent coopérer pour la résolution de problèmes plus complexes.
- Modularité : Le grand nombre d'agents permet de découper les problèmes en sous problèmes 'simples', cette approche est l'extension du découpage modulaire de la POO (Programmation Orienté Objet) à la POA (Programmation Orienté Agent).
- A chaque agent sa façon de résoudre les problèmes (en fonction de ses acquis). Donc un même problème peut avoir différentes solutions selon les agents.

Une telle solution est généralement meilleure par rapport à celle obtenue avec un seul agent.

### 3.3. Domaines d'Applications

Malgré leur jeune âge, les systèmes multi-agents sont présents dans plusieurs domaines. Ces systèmes sont complexes, distribués, et ont permis le développement de solutions très performantes et très prometteuses.

Des systèmes tels que : les systèmes boursiers, les systèmes de commandes et de contrôle en temps réel ...etc. ont été le point de départ pour cette nouvelle technologie. Ensuite le domaine d'application des systèmes multi-agents s'est étendu

et nous avons remarqué une présence des SMA dans les systèmes suivants : Réseaux d'échange P2P, les télécommunications, les systèmes coopératifs, les systèmes distribués, l'E-commerce.

#### **4. Plates formes multi-agents**

Plusieurs plates formes existent permettant de développer et d'exécuter des systèmes multi-agents conformément aux normes précédemment évoquées.

Les plates formes offrent des classes d'abstractions pour les agents, ainsi que des classes de communication permettant des interactions entre agents tout en respectant les standards (Fipa-ACL, KQML ... etc.). Voici deux de ces plateformes :

- **MadKit** (<http://www.madkit.org/>)

MadKit est une plate-forme multi-agents écrite en Java basée sur un modèle organisationnel. Elle est développée par Olivier Gutknecht et Jacques Ferber du LIRMM (Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Micro-électronique de Montpellier).

MadKit est avant tout une plate-forme d'exécution de systèmes multi-agents, utilisant un micro-noyau agent. Le modèle organisationnel sous-jacent est le modèle AGR (Agent/Groupe/Rôle). [RIC, 01].

- **Jade** (<http://jade.tilab.com>)

Jade permet le développement et l'exécution de systèmes multi-agent conformes aux normes FIPA, cette plateforme offre :

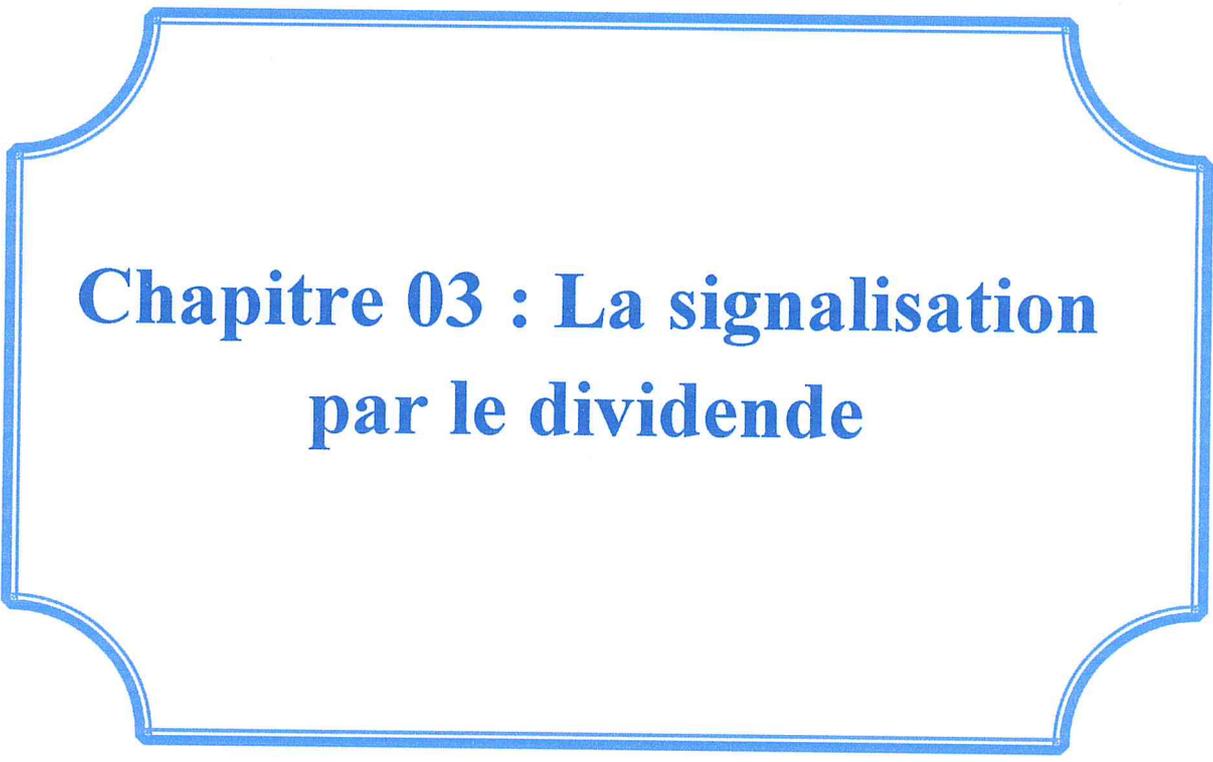
Un service de nommage, un service de pages jaunes, des mécanismes de transport de messages, un service d'analyse et une bibliothèque des protocoles d'interactions de FIPA. Cette plateforme est : Entièrement implémentée en JAVA, conforme aux spécifications FIPA, open Source et distribuée avec licence LGPL, modifiable en cours d'exécution (mobilité des agents) [TAN, 05]. Cette plate forme sera détaillée d'avantage dans l'annexe II, et elle sera utilisée pour l'implémentation de notre propre système multi-agents.

#### **5. Conclusion**

Le choix de l'utilisation des systèmes multi-agents pour l'implémentation de notre système de simulation de marché boursier est motivé par le fait que les SMA permettent d'aborder la complexité des marchés financiers en modélisant chaque

acteur ou intervenant du marché ainsi que toutes les échanges et interactions existants entre eux.

Mais avant d'aborder la modélisation d'un marché financier par SMA, nous présentons dans le chapitre suivant l'un des aspects les plus influents dans la dynamique des marchés financiers et qui est « la signalisation par le dividende » ainsi que les travaux qui ont été faits dans ce domaine.



**Chapitre 03 : La signalisation  
par le dividende**

## **1. Introduction**

En économie/finance, le dividende d'une action est un versement d'argent aux actionnaires d'un montant identique pour chaque action détenue, prélevé sur le bénéfice net de la société et servant à rémunérer leur participation au capital.

Le versement d'un dividende, même en cas de bénéfice, n'est pas automatique et est une décision de l'Assemblée générale des actionnaires. La partie du bénéfice non versée en dividende est donc réinvestie dans l'entreprise, et est comptabilisée dans le compte Réserve.

Le dividende est l'un des éléments utilisé dans l'évaluation des actions.

Souvent le dividende est considéré comme un outil utile pour évaluer la firme et encourager les actionnaires à mieux investir.

La politique de dividende, et plus particulièrement l'annonce du dividende est un moyen pour le marché d'obtenir des informations supplémentaires sur les perspectives futures de l'entreprise. Ainsi, l'annonce du dividende véhicule de l'information au marché afin de résoudre l'asymétrie informationnelle entre les actionnaires et les dirigeants. La théorie des signaux propose une modélisation de la politique de dividende dont l'objectif est de montrer comment la valeur du cash-flow par exemple, ou le montant du résultat futur de la firme est inférée à partir de la valeur du dividende annoncé.

## **2. Généralités sur le dividende**

### **2.1. Définition**

Le dividende est un revenu versé par l'entreprise à ses actionnaires une ou plusieurs fois par an (certaines sociétés versent un acompte sur dividende). Le montant du dividende est proposé par le Conseil d'Administration en Assemblée générale Ordinaire et voté par les actionnaires. Celui-ci peut être payable en numéraire ou en actions. Dans l'hypothèse où il est payé en numéraire, il peut être versé par prélèvement sur le bénéfice ou sur les réserves s'il est insuffisant. [WEB 12].

## 2.2. Types de dividende

### 2.2.1. Dividende en numéraire

#### *a. Le dividende classique*

Le conseil d'administration de l'entreprise décide d'affecter une somme X au versement des dividendes, et cette somme est divisée par le nombre d'actions existantes pour donner le dividende par action qui sera versé. [WEB 13].

#### *b. Le dividende prioritaire*

Ce dividende n'est versé qu'aux titulaires d'Actions à Dividende Prioritaire (ADP). En fait, l'ADP n'est pas une action comme les autres. Normalement, une action permet à celui qui la détient de voter aux assemblées générales de l'entreprise, et donc de participer à ses décisions. Cela signifie qu'à chaque nouvelle émission d'actions, l'actionnaire majoritaire risque de se retrouver minoritaire, et donc de perdre le contrôle de son entreprise.

L'ADP permet aux anciens actionnaires de garder le contrôle de leur entreprise, tout en bénéficiant de ressources supplémentaires, et sans s'endetter davantage. [WEB 13]

#### *c. Le dividende exceptionnel*

Le dividende exceptionnel est distribué essentiellement lors de certaines fusions, ou lorsque l'entreprise vient de réaliser une cession qui lui a rapporté beaucoup plus d'argent qu'elle n'en a besoin.

Dans le même champ d'idée, certaines entreprises disposant d'une trésorerie abondante, et inutilisée, peuvent en faire profiter leurs actionnaires, qui, eux, ont peut-être des idées de placement.

#### *d. L'acompte sur dividende*

L'entreprise peut décider de verser une fraction de dividende avant que l'Assemblée Générale ait approuvé les comptes. C'est un usage très répandu aux Etats-Unis.

#### *e. Dividende majoré*

Pour récompenser la fidélité de certains de leurs actionnaires, qui, par exemple, détiennent des actions depuis X années, ou bien ont inscrit leurs titres au nominatif, quelques entreprises leur versent un dividende majoré. Cette majoration ne peut être supérieure à 10%.

### 2.2.2. Dividende en action

Il s'agit de remplacer le versement d'une somme d'argent par l'attribution d'actions. Cette méthode présente des avantages tant pour l'actionnaire que l'entreprise. L'actionnaire n'a pas à se poser la question du réinvestissement de ses dividendes, tandis que l'entreprise n'a pas à décaisser d'argent, et augmente son capital.

### 2.3. Influence de la politique du dividende sur la valeur de la firme

Les professionnels, les investisseurs, les économistes s'intéressent au problème de l'influence de la politique de distribution des dividendes d'une entreprise sur la valeur de ses actions. Malgré cela, il n'existait pas des théories détaillées analysant la relation entre la politique de distribution et l'évaluation des actions, jusqu'à ce que les travaux de Modigliani et Miller aient vu le jour, ces deux auteurs considèrent que le dividende n'a aucune influence sur la valeur de la firme.

#### 2.3.1. La thèse de neutralité des dividendes

Modigliani et Miller (M&M) montrent que la valeur de la firme est déterminée par sa politique d'investissement et que la distribution de dividende n'a pas d'effet sur cette valeur. [VAI, 81].

En 1961, MM ont soutenu la thèse de la neutralité du dividende sur le cours de l'action, leur démonstration repose sur les hypothèses suivantes :

- Les marchés de capitaux étant parfaits et tous les investisseurs y sont rationnels et en disposent de l'information ;
- Absence de frais de transaction et d'impositions différents entre les profits retenus et les dividendes ;
- La politique d'investissement de la firme étant donnée et invariable ;
- L'avenir est certain, c'est-à-dire que l'investisseur est parfaitement informé de l'évolution des profits des entreprises.

M&M ont prouvé que la valeur de la firme au temps  $t$  suit la formule suivante :

$$V_t = \frac{1}{1+\rho} (V_{t+1} + X_t - I_t)$$

Équation 1: La valeur de la firme selon M & M.

Avec :

- $V_t$  : valeur de la firme en l'absence de la dette au début de la période  $t$  ;
- $\rho$  : taux de capitalisation de la firme qui est constant dans le temps ;
- $I_t$  : le montant total des investissements de la période  $t$  ;
- $X_t$  : le bénéfice de la période  $t$ .

❖ *Les Limites de la thèse de neutralité de la politique de dividende*

La première principale limite de leur analyse est que leurs conclusions ne sont valables que dans un monde parfait c'est-à-dire un monde dans lequel les investisseurs sont rationnels et ont accès à toute l'information disponible et ce à un coût nul.

De plus les marchés sont supposés avoir une absence totale de coût de transaction ou de coûts d'émission d'action nouvelles. Enfin ce monde parfait est dépourvu d'imposition.

Ces limites permettent de conclure que le raisonnement de Modigliani et Miller est loin de la réalité du marché du fait qu'il se base sur des hypothèses irréalistes, ce qui conduit à la présentation de la thèse de non neutralité de la politique des dividendes et de ses partisans dans la section suivante.

**2.3.2. La thèse de non neutralité des dividendes**

Cette école de pensée propose que la distribution de dividende a un impact sur la valeur de la firme et que ce dernier contribue significativement à la détermination de la valeur de l'action. [VAN, 72].

Les partisans de cette école sont principalement Gordon-Shapiro (1956), Walter (1961) et Lintner (1956). . [VAN, 72].

*a. Le modèle de Walter (1961)*

Walter a proposé la théorie résiduelle des dividendes. Celui-ci traite la politique de dividende en tant que décision strictement financière. Le montant du dividende versé va fluctuer en fonction des variations du montant des opportunités d'investissement.

Cette théorie tire son nom de ce qu'elle traite la question de la distribution de la richesse après avoir résolu le financement, et surtout l'investissement de la firme.

Selon Walter, la décision financière dominante réside dans le choix des projets d'investissement les profitables à l'actionnaire. Walter précise que la décision de distribution n'est pas une décision financière majeure puisqu'elle n'est prise qu'après celles d'investissement et de financement. Le taux de distribution des bénéfices doit

être très faible, voire nul, pour maximiser la valeur de la firme sur le marché. Son modèle fut un des premiers modèles théoriques sur les dividendes, le prix de l'action se détermine comme suit :

$$P = \frac{D + (r/k)(E-D)}{k}$$

*Équation 2: Le Prix de l'action ordinaire selon Walter.*

Avec :

- **P** : prix de l'action ordinaire ;
- **D** : dividende par action ;
- **E** : bénéfice par action ;
- **R** : taux de rendement de l'investissement ;
- **k** : taux de capitalisation du marché.

Trois cas se présentent :

- **Si  $r < k$**  : la firme ne doit verser aucun dividende ; (contient un louche)
- **Si  $r = k$**  : la valeur de la firme ne dépend pas du taux de distribution et ne dépend que de la capitalisation des bénéfices ;
- **Si  $r > k$**  : la firme devrait réduire ses excédents de liquidité en versant des dividendes

### *b. Limites du modèle de Walter*

Le modèle de Walter ne permet pas de donner une réponse catégorique à la question fondamentale : les dividendes affectent-ils la valeur des actions ?

## **3. La signalisation par le dividende**

### **3.1. Signalisation et l'asymétrie d'informations**

L'un des postulats majeurs des approches néoclassique est que tous les acteurs économiques disposent, en principe gratuitement, de toute l'information nécessaire pour prendre leurs décisions d'allocation des ressources, mais concrètement, la vie économique permet de constater l'irréalisme de cette proposition. Plusieurs situations économiques sont caractérisées par « l'asymétrie d'information ».

L'asymétrie informationnelle est née du fait que les dirigeants disposent sur l'entreprise d'une meilleure information que les actionnaires.

En 1970, [ROG, 87] *Akerlof* fut le premier économiste à s'intéresser à l'asymétrie informationnelle pouvant exister entre acheteurs et vendeurs ainsi qu'aux possibilités de la réduire au moyen des signaux émis par le vendeur. Ainsi une variation du dividende peut avoir un contenu informatif et influencer directement le prix du titre. Il s'agit d'un courant de pensée, celui de la théorie de signalisation.

Un signal est une information transmise par des agents bien renseignés, afin de faire connaître aux agents « rationnés » en information les caractéristiques véritables de leur entreprise.

L'activité de signalisation considère les relations entre des individus bien informés : les dirigeants, et des individus mal informés : les actionnaires et les créanciers.

Une annonce d'une augmentation (diminution) du dividende est une déclaration par les dirigeants de leur connaissance des perspectives favorables (non favorables) futures de la société. Puisque la valeur de marché de celle-ci est en fonction de ses résultats économiques futurs, on devrait s'attendre à une réaction positive (négative) suite à l'annonce d'une hausse (baisse) du dividende. De plus, les variations importantes de dividendes indiquent des changements plus importants des cash-flows de la société. Donc, la réaction du marché devrait être positivement liée à la taille de la variation du dividende.

### **3.2. Le rôle informationnel du dividende dans la théorie de signal**

Le dividende est considéré comme un signal ou un moyen pour transmettre de l'information "vraie".

Des dirigeants peu compétents, mais habiles en paroles, sont capables de présenter à leurs actionnaires une situation présente et future aussi bonne que celle présentée par des dirigeants compétents.

L'information contenue dans les documents comptables et les déclarations publiques ne suffit pas pour que le public puisse distinguer les entreprises performantes de celles qui ne le sont pas.

Pour être crédibles, les dirigeants des entreprises performantes doivent joindre l'acte à la parole et émettre un signal. Ce signal doit être communiqué au public et doit posséder certaines caractéristiques :

- ✓ Il doit coûter cher de façon à ne pas pouvoir être imité par les entreprises non performantes.

- ✓ Son échec doit pénaliser lourdement celui qui l'a émis de façon à rendre l'émetteur crédible.

L'émission du signal est donc le métier des entreprises performantes et doit permettre de distinguer celles-ci des entreprises non performantes.

Le paiement d'un dividende élevé et régulier coûte cher à l'entreprise qui le verse. Un tel versement ne peut s'effectuer que de la part d'une entreprise performante, et si une entreprise se mettait à verser provisoirement un dividende élevé pour faire croire qu'elle est performante et elle optait par la suite à une diminution, elle serait perçue par le marché comme une situation défavorable à l'encontre de l'entreprise.

L'émission de ce signal coûteux peut apparaître comme un gaspillage, mais les firmes performantes qui le supportent obtiennent en retour une augmentation du cours de leur action, ce qui les avantage lors de leurs émissions de nouvelles actions par rapport aux firmes peu performantes donc les sociétés ne procèdent à une augmentation du dividende que lorsque les dirigeants constatent une hausse régulière des bénéfices. [MLI, 09].

#### 4. Conclusion

Le dividende est une composante fondamentale de la rentabilité qui permet de fidéliser les actionnaires s'intéressant à des revenus élevés. Le dividende fonctionne comme un outil de communication entre l'entreprise et le marché.

L'influence de la politique de dividende sur la valeur de la firme a fait l'objet d'une importante littérature. Là encore, deux grands courants de pensée se sont historiquement opposés celui de la non-neutralité qui soutient que la valeur de l'action est influencée par les dividendes versés.

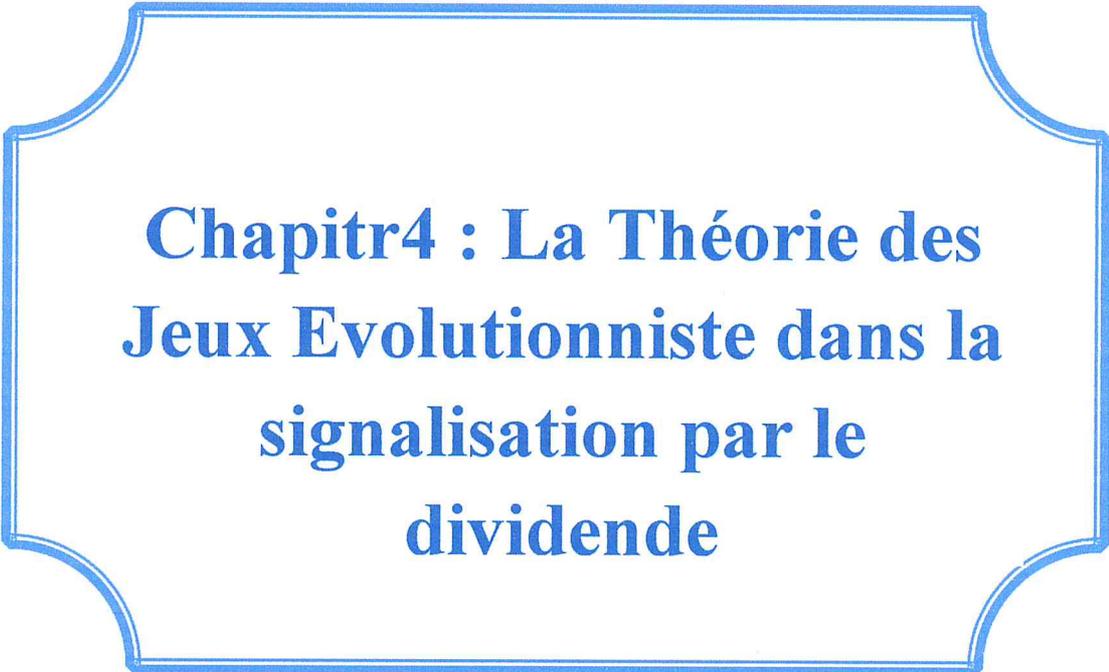
La théorie du signal présente une explication attirante en montrant que le dividende est un outil de communication extrêmement puissant entre l'entreprise et son marché. Ce signal implique un coût de sanction des dirigeants en cas de communication d'une fausse information au marché. Comme l'information entre l'entreprise et son marché est parfois imparfaite, le dividende constitue un signal approprié des flux de liquidité futurs de l'entreprise.

Les modèles de signalisation par le dividende présenté dans ce chapitre nous ont permis de déduire que le dividende influe sur l'évolution du marché.

Malheureusement, ces modèles ne permettent pas d'appréhender les politiques de

distribution de dividende par les firmes. La théorie des jeux est un support mathématique puissant pour étudier les stratégies de signalisation en prenant en considération les comportements d'autres firmes dans le marché.

Nous présentons cette théorie et son utilisation dans la signalisation par le dividende dans le chapitre suivant.



**Chapitr4 : La Théorie des  
Jeux Evolutionniste dans la  
signalisation par le  
dividende**

## 1. Introduction

Les concepts abordés par la théorie des jeux ont pendant des siècles été abordés de manière empirique dans de nombreux domaines des sciences, de la politique, de la morale et de la philosophie, mais la théorie des jeux n'a pris sa véritable forme mathématique qu'à partir des années 1940, et la publication en 1944 de *Théorie des jeux et comportement économique* (*Theory of Games and Economic Behavior*) par les mathématiciens américains John Von Neumann et Oskar Morgenstern. La théorie des jeux a ensuite connu un succès croissant et, en 1994, John Nash, Reinhard Selten et John Harsanyi ont obtenu le prix Nobel d'économie pour leurs travaux sur la théorie des jeux.

La théorie des jeux est une discipline mathématique qui étudie les situations où le sort de chaque participant dépend non seulement des décisions qu'il prend mais également des décisions prises par d'autres participants. En conséquence, le choix "optimal" pour un participant dépend généralement de ce que font les autres. Puisque chacun n'est pas totalement maître de son sort, on dit que les participants se trouvent en situation d'interaction stratégique. [DAV, 00].

Nous abordons dans ce chapitre les concepts fondamentaux de la théorie des jeux, les différents types des jeux, les différentes représentations de jeu... Ensuite nous voyons la théorie de signal et à quoi sert cette théorie. Et en fin nous mettons l'accent sur quelques modèles des jeux qui ont été utilisés dans la signalisation par le dividende.

## 2. La Théorie des Jeu Classique

### 2.1. Domaine d'application de la théorie des jeux

Les champs d'application de la théorie des jeux sont divers et quasiment universels, elle est utilisée dans la bourse qui est un domaine central d'application de la théorie des jeux par exemple: il y a des joueurs qui sont les acheteurs et les vendeurs d'actions, des règles d'achat et de vente, de la spéculation et des choix stratégiques à faire, etc.) Et il y a d'autres comme les jeux de société (jeux de cartes, Monopoly), les jeux sportifs, les tarifs automobiles, ... etc. [WEB 14].

### 2.2. Définition

«Selon l'acceptation courante, un jeu est une situation où des individus (les joueurs) sont conduits à faire des choix parmi un certain nombre d'actions possibles, et dans un cadre défini à l'avance (les règles du jeu), le résultat de ces choix constituant une

issue du jeu, à laquelle est associé un gain, positif ou négatif, pour chacun des participants. *Bernard Guerien*» [BRU, 06].

### **2.3. La classification du jeu**

La théorie des jeux classifie les jeux en catégories en fonction de leurs approches de résolution :

#### **2.3.1. Les Jeux coopératifs / non coopératifs**

Un jeu est dit coopératif lorsque les joueurs peuvent communiquer librement entre eux et passer des accords. Ils forment alors une coalition et recherchent l'intérêt général suivi d'un partage des gains entre tous les joueurs, comme par exemple, vendeur et acheteur négocient le prix d'un bien ou d'un service, ou une joint venture entre deux firmes.

Dans un jeu non coopératif, les joueurs (qui ne communiquent pas ou ne peuvent pas communiquer entre eux) agissent selon le principe de rationalité économique : chacun cherche à prendre les meilleures décisions pour lui-même (c'est à dire cherche à maximiser égoïstement ses gains individuels). Ce dernier type de jeu fait intervenir les probabilités, comme par exemple, deux firmes concurrentes supposent que le comportement des autres détermine, séparément, le prix et la stratégie marketing pour gagner des parts de marché. [BIN, 86].

#### **2.3.2. Les jeux à information complète / à information incomplète**

Les jeux peuvent être classés sur la base de l'information dont disposent les joueurs :

Un jeu est à **information complète** si chaque joueur connaît l'ensemble de stratégies et les fonctions de gains de tous les autres joueurs, y compris donc les siens. A l'inverse, un jeu est dit à **information incomplète** si les joueurs ne connaissent pas tous les éléments du jeu ou certains éléments ne sont connus qu'en termes de probabilités. [THI, 04].

### **2.4. La représentation d'un jeu**

La forme la plus utilisée pour représenter des jeux est la forme stratégique. Cette forme fait appel à un tableau (ou des tableaux) de nombres donnant les gains des joueurs pour chacune des issues possibles, les lignes et les colonnes correspondent aux diverses stratégies. Généralement la satisfaction d'un joueur est représentée par des nombres réels. Plus le nombre est élevé, plus la satisfaction est importante. Ces

préférences sont définies par une fonction d'utilité ou de satisfaction des résultats. [DES, 07] & [GLI, 10].

La réorientation sous forme stratégique d'un jeu ayant les caractéristiques suivantes :

- Une liste des participants. Les joueurs.
- Pour chaque joueur, un ensemble des stratégies.
- Pour chaque liste de stratégies comportant une et une seule stratégie par joueur, les gains perçus par les joueurs lorsque les stratégies de la liste ont été choisies.

### **2.5. Concepts de résolutions d'un jeu**

L'analyse d'un jeu permet de prédire l'équilibre qui émergera si les joueurs sont rationnels. Un équilibre est un état ou une situation dans lequel aucun joueur ne souhaite modifier son comportement une fois connu le comportement des autres joueurs. De façon plus précise, un équilibre est une combinaison de stratégies telle qu'aucun des joueurs n'a d'incitation à changer sa stratégie une fois connues les stratégies des autres joueurs. Une fois que l'équilibre est atteint dans un jeu, il n'y a aucune raison de le quitter.

## **3. Le signal dans le cadre de la théorie des jeux**

### **3.1. Un signal ?**

Il y a des actions coûteuses à vous pour prendre, et les autres peuvent vous voir les prendre, ces actions sont plus coûteuses si vous mentez que si vous dites la vérité, donc les autres vont conclure que vous êtes entraînés de dire la vérité, ces actions sont appelées **signaux**. [MCM, 96].

### **3.2. La théorie de signal**

La théorie des signaux se fonde sur le fait que l'information est inégalement partagée ou asymétrique, les dirigeants d'une entreprise disposant notamment d'une information supérieure à celle de ses pourvoyeurs de fonds. Dès lors, une politique de communication efficace est nécessaire : les dirigeants doivent non seulement prendre des décisions justes, mais aussi en convaincre le marché. Pour ce faire, ils ont recours au signal, décision financière porteuse de conséquences financièrement négatives pour son initiateur au cas où ce signal se révélerait erroné. Cette théorie, qui met en évidence l'importance de la crédibilité du signal (d'où la nécessité des sanctions en cas de mensonge), incite à s'interroger sur la perception qu'auront les

investisseurs de toute décision financière (et non sur sa seule portée objective).  
[WEB 15].

#### 4. Les modèles de jeux

##### 4.1. Le modèle de Chin-Bun Tse

Chin Bun Tse (CBT) a montré dans son modèle que la différence de la signalisation par le dividende entre dire la vérité et mentir dans le cas de diminution des revenus est plus importante que dans le cas d'augmentation des revenus (mauvaise ou bonne situation économique). C'est pourquoi le dividende signalé dans une situation de déficit est plus crédible et effectif, CBT a aboutit qu'un équilibre peut être atteint.  
[[CHI, 09]]

##### 4.1.1. Variables et hypothèses

- **G** bonne firme.
- **B** mauvaise firme.
- **pd** Le meilleur prix du marché pour **B**.
- **pg** le meilleur prix du marché pour **G**.
- **pa** prix moyen du marché.
- **dg** Le dividende maximal que **G** peut verser.
- **db** Le dividende maximale que **B** peut verser.
- **c** couts nets d'un paiement du dividende élevé que **di**.
- **H** La valeur réelle de **G** à  $t=0$ .
- **L** La valeur réelle de **B** à  $t=0$ .

Par simplification, il existe 3 joueurs : **G**, **B** et *un groupe d'investisseurs homogènes*. La firme sait son type mais l'investisseur ne différencier pas entre **G** et **B**.

A l'instant  $t=0$ , l'investisseur ne voit pas le type de la firme, il s'intéresse aux firmes qui réalisent des profits importants, et par conséquent aux firmes dont la valeur réelle est élevée. Le dividende est considéré comme un signal crédible qui permettra de prédire le type de la firme car il est couteux, cependant, la valeur réelle n'est révélé qu'à  $t=1$ .

Avant la signalisation par le dividende, la probabilité d'investir dans **G** est **0.5**, et dans **B=0.5**,

On aura un prix moyen **pa** qui est donné à **G** comme **B**.

Le modèle ne comprend pas le cas où les firmes émettent des nouvelles actions, on suppose que l'investisseur achète du marché secondaire (voir chapitre 1), si c'est le cas, alors la cotation sera au prix du marché.

- *Cas de diminution des revenus :*

On suppose que **G** a des projets profitables à venir, et cette diminution est juste temporaire alors qu'elle est plus persistante pour **B**

- *Cas d'augmentation des revenus :*

Dans ce cas la croissance de **G** est stable et persistante par contre l'augmentation des revenus est temporaire pour **B**.

#### 4.1.2. Les règles et les mécanismes

Les règles du jeu sont décrites comme suit :

- D'abord, les dirigeants **informés** choisissent un niveau du dividende afin de maximiser leurs valeurs sur le marché.
- Les investisseurs **non informés** utilisent le dividende annoncé afin de minimiser la différence entre le prix offert et la valeur réelle de la firme.
- La stratégie des dirigeants est déclarer un dividende **dg** ou **db** (avec **dg** > **db**) en prenant en considération les coûts attachés à une telle signalisation.
- La stratégie des investisseurs est d'acheter / ne pas acheter des actions d'une firme (soit **G** soit **B**), s'ils achètent, ils vont offrir un prix élevé pour un dividende élevé, en croyant que cela implique une valeur réelle importante de la firme (de type **G**)
- Tous les joueurs sont supposés rationnels

Le jeu est représenté sous sa forme extensive comme suit :

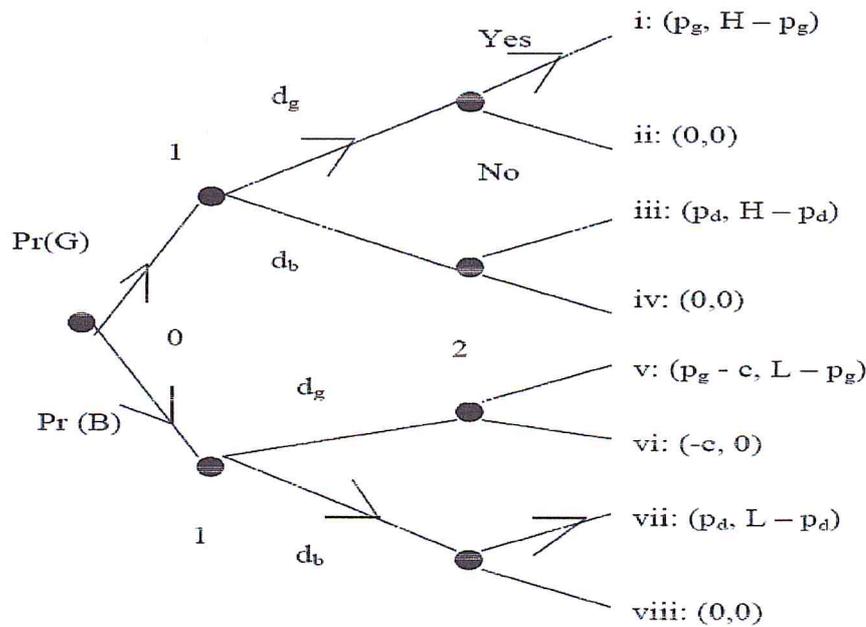


Figure 10: La forme extensive du jeu.

On passe par trois étapes dans ce jeu. D'abord le type **G** ou **B** est attribué aléatoirement aux firmes et le prix du marché est  $p_a$  pour les deux, soit la probabilité 0.5 pour chaque type, les dirigeants observent le type de la firme, mais pas les investisseurs. Ensuite, les dirigeants choisissent un niveau de dividende à signaler, finalement les investisseurs choisissent d'acheter ou non les actions. Il faut rappeler que le prix du marché varie en fonction du volume de la demande, trop de demande engendre une appréciation et donc le prix augmente et inversement. Au niveau des feuilles de l'arbre du jeu, les couples représentent respectivement les gains des firmes et des investisseurs.

#### 4.1.3. Les gains et les stratégies

- *Les gains de la firme dans chaque cas :*

- Les nœuds **ii**, **iv** et **viii** : la valeur 0 indique qu'il n'y a pas de changement sur le cours de ses actions, on parle de la stabilité des prix.
- Les nœuds **iii** et **vii** : les investisseurs ne sont pas motivés à acheter des actions ce qui va baisser les prix ( $p_a$ )
- Le nœud **i** : les investisseurs apprécient la firme et multiplient leurs demandes, on observe une augmentation des prix  $p_g$ .
- Le nœud **v** : il y a de la demande ce qui est positif pour la firme, mais la signalisation d'un dividende  $d_g$  coûte  $c$ , le profit est donc  $p_g - c$ .

- Le nœud vi : ce cas est le plus mauvais pour une firme, elle annonce un dividende élevé et pourtant on investit pas son argent (peut être à cause d'une mauvaise réputation) elle perd donc (-c) verser un dividende sans avoir en main de nouveaux fonds de financement.

- **Les gains des investisseurs dans chaque cas :**

- Les nœuds ii, iv, vi et viii : Si l'investisseur n'achète pas des actions, il est évident qu'il n'obtient pas de profits.
- Les nœuds i, iii, v, vii : le profit de l'investisseur est la différence entre ce qu'il a payé et ce que vaut réellement la firme. Notons que :

$H - p_d > H - p_g > L - p_d > L - p_g$  est évident, mais deux cas se figurent :

$L - p_g > 0$  et  $L - p_g < 0$  (une perte pour l'investisseur).

CBT a démontré dans son modèle qu'il existe un équilibre de Nash. Les nœuds ii, iv, vi et viii sont exclus parce qu'aucun cas n'apporte de profit à l'investisseur, les firmes vont prédire les choix des investisseurs basés sur le dividende annoncé. Pour G, signaler un dividende  $d_g$  pour augmenter la demande de ses actions, le nœud i est adopté, alors que B est face à deux situations : si  $p_g - c < p_d$  elle décide de signaler  $d_b$  car toutes les autres stratégies sont dominées (le coût de signalisation est plus grand que le bénéfice attendu), sinon encore deux autres cas se présentent : Si on prend le premier cas où  $L - p_g > 0$ , le nœud vi est éliminé sinon le nœud v est éliminé dans les deux cas de  $L - p_g$ , la firme risque d'être pénalisée, c'est un coup risqué pour B de signaler  $d_g$  (imiter G).

Donc l'équilibre de Nash est quand G déclare  $d_g$  et B déclare  $d_b$  et que les investisseurs ne soient pas informés par des mensonges.

Les firmes peuvent se trouver comme on l'a dit dans deux situations : **augmentation** ou **diminution des revenus**, dans les deux cas les bonnes firmes **G** choisissent de signaler un dividende élevé sans être pénalisées, par contre **B** sont aisés uniquement dans le premier cas, car le coût de signalisation  $c$  n'a plus de valeur vu que **B** peut verser des dividendes et s'amuser de l'appréciation du marché. Dans le deuxième cas, il faut voir si le dividende élevé apporte plus de profit ou non.

## 4.2. Le Modèle d'Emmanuelle GABILLON

Dans un contexte d'asymétrie d'information, la théorie du « pecking order » établit un ordre de préférence selon lequel une entreprise va financer ses investissements : la firme a recours en priorité à l'autofinancement, puis à l'endettement.

En revanche, selon cette théorie, les entreprises ne devraient jamais émettre d'actions. L'objectif est donc de montrer que l'émission d'actions a une place dans la stratégie financière d'une entreprise. GABILLON a montré que l'émission d'actions est un moyen efficace pour inciter les investisseurs externes à s'informer sur l'entreprise. L'émission d'actions permet donc de réduire l'asymétrie d'information entre la firme et le marché. [SHM, 10].

Pour expliquer le rôle des actions dans la stratégie financière des entreprises, GABILLON a conservé l'hypothèse d'asymétrie d'information (voir chapitre 3) tout en introduisant une modification fondamentale : les investisseurs, qui interviennent sur le marché financier, peuvent s'informer sur la qualité de l'entreprise moyennant le paiement d'un certain coût. GABILLON a montré que :

- Les agents qui ont décidé de s'informer préfèrent acheter des actions que des titres de dette parce qu'ils rentabilisent davantage leur investissement informationnel.
- Si la firme émet des actions, les agents qui décident de s'informer sur la firme sont (donc) plus nombreux. Plus elle émet d'actions, plus ils sont nombreux.
- Émettre des actions est (donc) un moyen efficace pour stimuler l'acquisition d'information. En effet, la firme est sous-évaluée ; il est donc dans son intérêt que l'on s'informe sur elle. Émettre des actions est plus efficace pour inciter les agents à s'informer qu'émettre de la dette. Nous mettons, donc, en évidence le rôle possible de l'émission d'actions dans la stratégie financière des entreprises. C'est ce que nous appelons *l'effet informationnel des actions*.

### ☞ Le modèle :

Nous considérons un modèle à quatre dates (0, 1, 2, 3).

#### A. Les agents

On suppose que tous les agents sont neutres au risque (Les agents sont donc uniquement intéressés par leur espérance de gain).

#### ❖ La firme

- La qualité de la firme,  $t$ , peut être bonne  $.b/$  ou mauvaise  $.m/$  selon une distribution de probabilité  $(1/2, 1/2)$ .
- On suppose qu'à la date 0, la firme est la seule à connaître la qualité de son projet d'investissement. Les intervenants externes (à la firme) sur le marché financier ne connaissent que la distribution de probabilité  $(1/2, 1/2)$ .
- Pour financer son projet, la firme peut émettre des actions et de la dette.
- A la date 0, la firme de type  $t$  annonce son taux d'endettement.
- On suppose que la firme maximise la richesse de ses actionnaires en place.

#### ❖ Les investisseurs

- A la date 1, chaque agent non-informé peut choisir de rester non-informé ou, au contraire, d'apprendre parfaitement le type de l'entreprise moyennant le paiement d'un coût fixe pour l'intérêt d'un agent spéculateur. Dans ce cas, on parlera d'agents informés.
- A la date 2, une fois leur information acquise, les informés lancent des ordres d'achat ou de vente des titres émis par l'entreprise.

### B. Chronologie du modèle

- *Date 0* : Stratégie d'émission de la firme et taux d'endettement.
- *Date 1* : Acquisition d'information par les investisseurs en émettant des signaux aux spéculateurs.
- *Date 2* : Lancement des ordres par les investisseurs et prix d'équilibre calculé dans le marché.
- *Date 3* : Le cash-flow du projet d'investissement se réalise.

#### 4.3. Le Modèle de Richard FAIRCHILD

Après les travaux de plusieurs chercheurs qui ont traité l'importance de la politique de la signalisation par le dividende à travers deux motivations :

- L'hypothèse de la signalisation.
- Le cash flow disponible.

Richard FAIRCHILD a cherché à les intégrer dans un jeu où les dirigeants possèdent des informations plus que les investisseurs sur la qualité de la firme, donc le modèle va combiner les motivations de la signalisation et du cash-flow. La réputation et la communication entre agents et aussi intégré.

Les firmes peuvent parfois diminuer le dividende versé afin de financer d'autres projets cependant elle va être pénalisée par le marché car les investisseurs considèrent cette diminution comme une mauvaise nouvelle. Ce qui va imposer aux firmes de garder le dividende payé élevé, ce modèle a montré que la communication des dirigeants aux investisseurs sur les raisons de diminuer le dividende, et en considérant la réputation des dirigeants, peut alléger le problème et mener à une entente de toutes les parties, et ce qui nous explique la complexité de la politique du dividende.

#### 4.3.1. Net Present Value (NPV)

C'est un outil utilisable dans les cas d'analyses de la pertinence de projets d'investissement, La valeur actuelle nette mesure à partir d'informations comptables si l'investissement peut réaliser les objectifs attendus des apporteurs de capitaux. Une NPV positive indique que l'investissement peut être entrepris. Cependant la NPV reste un outil d'évaluation prévisionnel basé sur des informations restant difficiles à prévoir. Il faut être capable de prévoir les ventes et les charges liées au projet.

#### 4.3.2. Le modèle :

On considère qu'il existe 2 types de firmes, les bonnes G et les mauvaises B, le déroulement du jeu est le suivant :

- chaque firme commence avec un revenu net  $N_i$  ( $N_g$  ou  $N_b$  tel que  $N_g > N_b > 0$ ). Au début du jeu, le type de la firme est inaperçu à cause de l'absence du signal, le marché affecte une probabilité de 0.5 pour chaque type.
- **À la fin de date 0 :** les revenus net  $N_i$  sont révélés aux dirigeants mais pas aux investisseurs, le marché devient conscient de la future opportunité d'investissement (le nouveau projet  $n$ ) et ensuite le marché sait que ce projet retournera  $p$  (qui est le NPV de ce projet) par action à la date 2.
- **À la date 1 :** les firmes annoncent simultanément le dividende  $D_i$ , l'annonce qui a un rôle de signal affecte la valeur de la firme sur le marché, à ce stade les dirigeants reçoivent une récompense  $\alpha \in [0, 1]$  exprimé comme fraction de la valeur de la firme  $V_1$ . Donc le signal affecte la valeur de la firme et la récompense des dirigeants.
- **À la date 1.5 :** la firme payent le dividende annoncé, le projet  $n$  exige une somme d'investissement  $I \in [N_b, N_g]$ , la firme G a un cash flow suffisant (après verser le dividende), elle est capable à investir, contrairement à B car  $I > N_b$  et  $N_g - D_g \geq I$ .

- À la date 2 : si le projet  $n$  a été pris, cela ramène des bénéfices privés à la firme noté  $b$  tel que :  $b > 0$ .

Dans tout les cas, à la fin de la date 2, le dividende de la date 2 est payé et le jeu est terminé. On note que dès que les dirigeants reçoivent leur récompenses à date 1, ils investissent à la date 1.5 si c'est possible pour obtenir les bénéfices  $b$ . La formule de gain est :

$$M = \alpha \times V_1 + \beta$$

Équation 3: La formule du gain du Richard FAIRCHILD.

Où :

$\alpha$ : est le paramètre de récompense

$V_1$  : valeur de la firme à la date 1

$\beta$ :  $b$ , si les dirigeants ont pris le nouveau projet  $n$ , 0 sinon.

L'objectif est de choisir le niveau de dividende qui maximise  $M$  en tenant compte du choix des autres firmes.

Pour trouver un équilibre à ce jeu, on cherche comment le marché peut développer ses croyances, si deux firmes annoncent un dividende différent, on croit que celle qui a payé un dividende élevé est la bonne. Notons que le marché réagit positivement avec un dividende élevé et réciproquement. L'algorithme suivant explique les différents cas que peuvent prendre le modèle de Richard FAIRCHILD :

```

Début
  si  $N_g - I > N_b$ 
    alors
      si  $p > 0$  // la rentabilité du projet est élevée
        alors l'équilibre est quand G paye un dividende moyen égale à  $N_g - I$ 
          et investit dans le projet  $n$  et que B paye un dividende bas
            égale à  $N_b$ .
        sinon
          si  $\alpha * p * I + b > 0$  // les bénéfices de la firme
            alors l'équilibre est quand G paye un dividende moyen égale à
               $N_g - I$  et investit dans le projet  $n$  et que B paye un
                dividende bas égale à  $N_b$ .
            sinon l'équilibre est quand G paye un dividende moyen égale à  $N_g$ 
              et donc ne pas investir dans le projet  $n$  et que B paye un
                dividende bas égale à  $N_b$ 
          Finsi
    Finsi
  
```

```

    Finsi
  sinon
    si  $p * I > N_g - N_b$ 
      alors deux équilibres existent :
        Quand G et B choisissent de payer un dividende bas égal à  $N_g - I$ 
          alors B peut imiter le G dans le paiement du dividende
          mais G peut investir dans le projet n
        Quand G paye un dividende élevé égale à  $N_g$  et ne pas investir
          mais se différencier de B et B paye un dividende bas égal
          à  $N_g - I$ .
      sinon un équilibre existe quand la bonne firme paye un dividende élevé
        égale à  $N_g$  et ne pas investir dans le nouveau projet n et B paye
        un dividende égale à  $N_b - I$ .
      Finsi
    Finsi
  Fin

```

## 5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons défini les concepts fondamentaux de la théorie des jeux et nous avons vu qu'un jeu est défini par un ensemble de stratégies, un ensemble de joueurs, et une fonction d'utilité. Les 3 modèles de jeu ont traité la signalisation par le dividende mais dans des contextes différents.

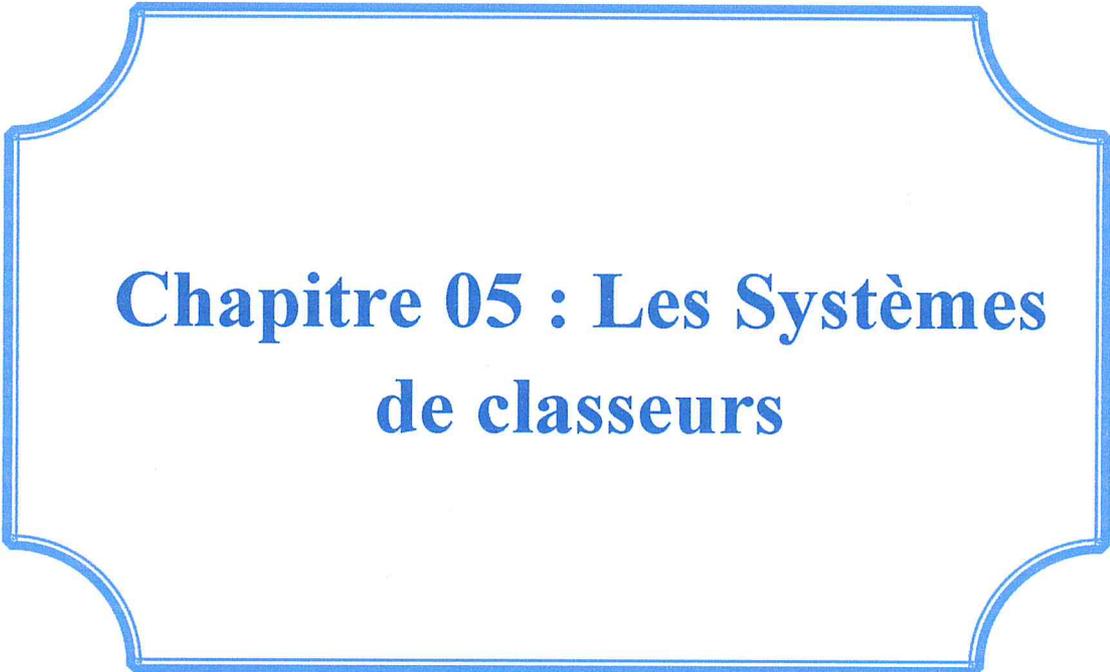
Chin Bun Tse a concentré juste sur la *situation économique* générale dans laquelle se trouvent les firmes, alors que pour GABILLON, il a travaillé sur la notion de *l'information privilégiée* déduite par les spéculateurs en traitant les signaux circulant dans la bourse (ordre, signal du dividende ... etc.).

FAIRCHILD à son tour a fait une recherche sur un aspect totalement différent, il a introduit la notion de *réputation* qui change en fonction de la réussite de la firme aux *projets* qu'elle choisit, en précisant les équilibres existants pour les mauvaises et les bonnes firmes.

Nous nous inspirons de ces modèles qui sont à la fois **incomplets** (vu que chacun a étudié un facteur influant sur le dividende annoncé) et **complémentaires** (car la globalité de ces modèles forme un marché financiers artificiel plus proche à ce qui existe dans la réalité) l'un aux autres pour concevoir notre propre modèle de jeu.

Dans notre conception, nous créons un nouveau modèle dont les joueurs sont des **agents** communiquant par l'échange d'ordres de bourse et dans lesquels nous

intégrons un module **d'apprentissage** grâce aux systèmes de classeurs, pour à la fin comparer les comportements, les gains et l'évolution du cours (prix des produits cotés) aux **dividendes signalés** au long des années (simulées). Tout en conservant les résultats de ces trois chercheurs.



**Chapitre 05 : Les Systèmes  
de classeurs**

## 1. Introduction

L'apprentissage est la modification du comportement comme résultat de l'expérience. En général on dira que toute technique qui permet à un agent d'améliorer son efficacité est une technique d'apprentissage.

Parmi les nombreuses méthodes existantes d'apprentissage pour les agents, nous citerons : les réseaux de neurones, les systèmes de productions, l'apprentissage par renforcement, ... etc.

La technique la plus utilisée avec les agents est l'apprentissage par renforcement. Cette méthode consiste à faire en sorte que l'agent apprenne à partir de ses expériences. Pour cela, on donne à l'agent un certain renforcement après chacune de ses actions. Si le renforcement est positif, cela signifie que l'agent a bien agi, celui-ci tentera donc de refaire les mêmes actions. En revanche, si le renforcement est négatif, alors l'agent saura qu'il a mal agi et il tentera d'éviter ces actions dans le futur. C'est un apprentissage par essais et erreurs qui permettent à l'agent de s'améliorer avec le temps. [DJA, 08].

L'apprentissage par renforcement a pour objectif de maximiser la performance du système en renforçant les meilleures actions. L'agent obtient des informations de l'état de l'environnement (les perceptions) et agit également sur l'environnement puis reçoit une récompense. Dans les algorithmes d'apprentissage par renforcement, cette récompense peut être immédiate ou retardée. [CHE, 04].

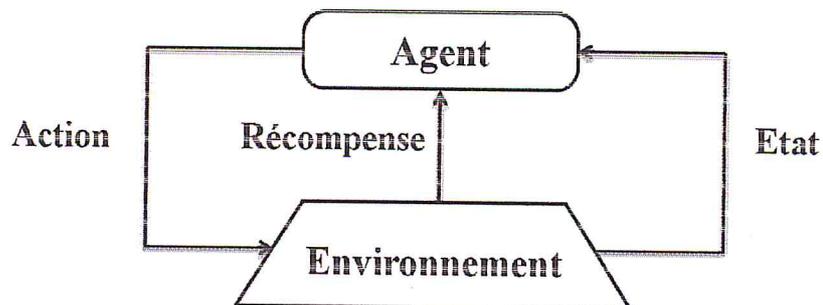


Figure 11: Système d'apprentissage par renforcement.

L'objectif d'un agent dans un apprentissage par renforcement est de maximiser les récompenses totales qu'il reçoit tout au long du *processus*. (La récompense définit les bons et les mauvais états de l'agent).

## 2. Les Systèmes de classeurs

### 2.1. Définition du système de classeurs

Un système de classeurs est constitué d'un ensemble de « règles de production », appelées « classeurs ». Chaque classeur est composé au moins d'une partie *condition* (qui correspond aux perceptions venant de l'environnement), d'une partie *action* (qui permet à l'agent d'agir sur son environnement) et d'une valeur *sélective* (qui aide à faire un choix entre plusieurs règles) [NDA, 09]. Une règle est équivalente à :

Si (C = S) alors (A) où C est la condition, S la situation et A l'action à effectuer.

### 2.2. Représentation des données dans un classeur

L'alphabet de la condition est ternaire. En plus des deux bits de l'alphabet binaire (0 et 1), on introduit le caractère « # » qui symbolise le fait que la valeur de la perception n'entre pas en compte dans la décision. Par exemple, la condition représentée en ternaire par 1#01 correspond à deux situations différentes dans l'environnement : 1001 et 1101. [DJA, 08].

- Condition {0, 1, #}.
- Action {0, 1}.
- Force (nombre entier ou réel).

<b>Condition</b>	<b>Action</b>	<b>force</b>
[01#01#01]	[0111000101]	69

Figure 12: Représentation d'un classeur.

### 2.3. Le fonctionnement général d'un système de classeur

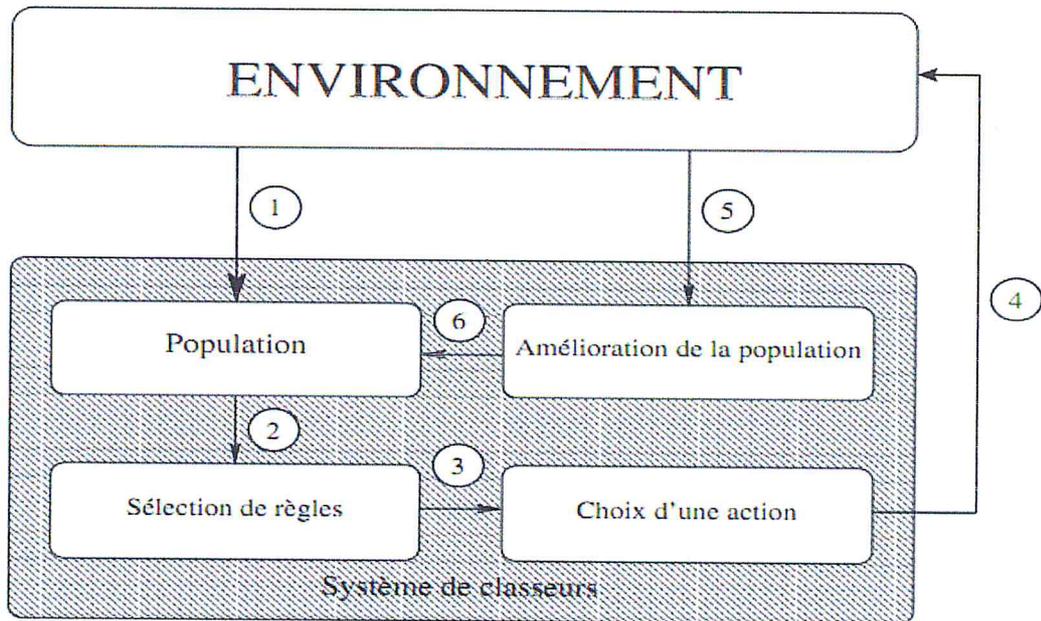


Figure 13: Le fonctionnement général d'un système de classeur.

**1** : L'environnement répète un état qui est lu par les "capteurs" du système de classeurs.

**2** : Le système de classeurs constitue, à partir de la population qui le compose, un sous-ensemble de classeurs ou règles qui peuvent agir sur l'environnement i.e. classeurs qui "comprennent" le signal émis par l'environnement.

**3** : A partir de cet ensemble de classeurs appelé également "Match Set", il détermine une action à entreprendre.

**4** : Le système de classeurs agit sur l'environnement.

**5** : L'environnement sanctionne positivement ou négativement le système de classeurs.

**6** : C'est le module d'apprentissage / évolution qui gère la façon d'utiliser cette punition / récompense pour déterminer la nouvelle valeur représentative du ou des classeurs ayant participé à l'action. C'est ce même module qui va utiliser cette nouvelle valeur afin de faire évoluer les classeurs.

### 2.4. Types de systèmes de classeurs

De nombreux systèmes de classeurs apprenants sont apparus. Nous présentons les deux systèmes de classeurs les plus répandus dans les sections suivantes :

### 2.4.1. Le LCS de Holland

Le système de base de Holland LCS utilise une quantité nommée « force » pour évaluer les classeurs. Cette « force » est obtenue par un algorithme « Bucket brigade » qui utilise la rétro-propagation de la récompense environnementale sur les classeurs. Elle constitue une valeur sélective pour les algorithmes génétiques.

Ce système est également caractérisé par une liste de messages. Cette liste inclut les messages traduisant la perception de l'environnement et ceux traduisant les actions ou les messages de sorties. Si la condition d'un classeur est associée à un message de la liste, le classeur est activé et les messages qui ont activé ce classeur sont ultérieurement éliminés. Le classeur envoie ensuite sa partie action à la liste de messages. Les messages qui peuvent être interprétés sont transformés en action et sont ensuite supprimés. D'autres messages vont rester dans la base et sont appelés « messages internes ». L'ensemble de ces messages définit l'état interne du système.

Ces messages constituent la mémoire de l'agent, sans laquelle, l'agent serait purement réactif. Cependant, les systèmes LCS sont pénalisés par un ralentissement de l'apprentissage suite à un accroissement important du nombre de messages internes. Ce nombre augmente à son tour l'espace de recherche des algorithmes génétiques [NDA, 09].

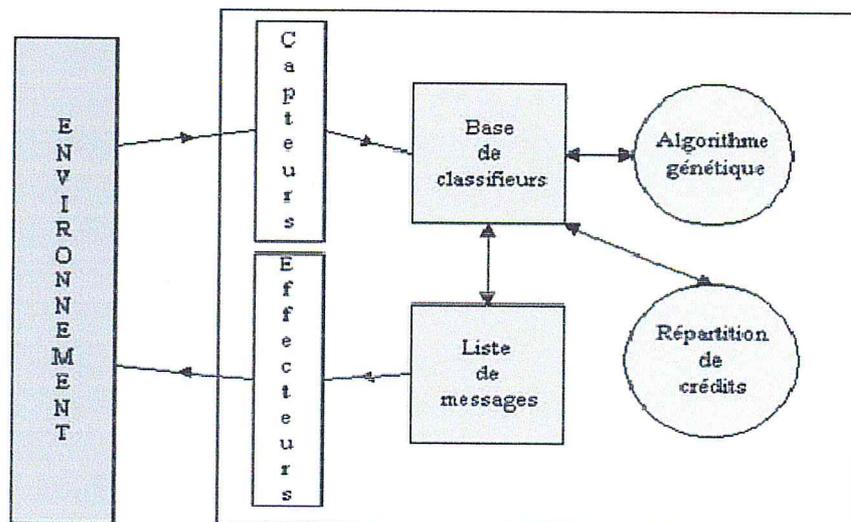


Figure 14: La structure du LCS.

### 2.4.2. XCS

XCS a résolu le problème de chaînes d'actions en apprenant un modèle de la fonction de récompense. Il remplace la mesure de force par une mesure de prédiction qui représente la récompense attendue quand le système applique l'action à la condition

correspondante. Cette quantité est déterminée par le « Q-learning » et non pas par le « Bucket brigade ». XCS se distingue aussi par l'utilisation de la généralisation pour diminuer le modèle de récompense. La généralisation réduit le nombre de classeurs en les regroupant dans des classeurs plus généraux, ceux ayant des conditions similaires et proposant la même action [NDA, 09].

### 3. L'Algorithme de bucket-brigade

L'algorithme du bucket-brigade (BBA) permet d'anticiper le renforcement que recevra chaque classeur lorsque l'action déclenchée en fin de cycle aura été évaluée et aura reçu le renforcement correspondant de la part de l'environnement. Pour décrire l'algorithme, Holland utilise une analogie avec les intermédiaires en économie : ces personnes touchent une commission sur les affaires qu'ils apportent et paient une commission à leurs propres intermédiaires. En effet, le BBA fonctionne ainsi : chaque classeur paie une offre (**Bid**) immédiat aux classeurs qui lui ont permis de se déclencher (il s'agit des classeurs dont le message émis dans la liste s'appartient à la partie condition du classeur considéré ou alors un classeur qui a déclenché l'action permettant de se retrouver dans l'état actuel). [NDA, 09].

Lorsque plusieurs classeurs sont élus, il faut les départager. Pour cela, chacune des règles déclenchées participe aux enchères (**action**). Chaque classeur fait donc une offre (Bid) que l'on calcule de la manière suivante :

$$\text{Bid} = \text{Force} * \text{Cbid} * \text{Spécialisation}$$

*Équation 4: Calcule d'offre Bid.*

Où  $C_{bid}$  est une constante comprise entre 0.1 et 0.2. La spécialisation est le nombre de symboles # de la partie condition d'une règle divisée par sa longueur [NDA, 09], elle est définie comme suit :

$$\text{Spécialisation} = (\text{L}-\text{W}+1) / (\text{L}+1)$$

*Équation 5: Calcule de la spécialisation.*

Où  $L$  est la longueur de la partie condition de la règle,  $W$  est le nombre de symbole « # » dans la condition. La constante 1 est utilisé pour permettre aux règles constituées entièrement de « # » de participer quand même. Moins une règle contient de symboles #, plus elle est spécialisée.

Ensuite, il suffirait de choisir celui qui fait la meilleure offre (**Bid**). Mais il convient plutôt de laisser un peu de place au hasard. Alors on ajoute à l'offre une variable

aléatoire  $N(\sigma_{bid})$  où  $N$  est une fonction de l'écart-type des enchères  $\sigma_{bid}$ . Puis on choisit la plus grande valeur.

Le classeur nouvellement élu doit maintenant s'acquitter d'une taxe (c'est le « pari » qu'il fait sur la qualité de l'action qu'il déclenche). L'offre que le classeur fait est retirée de son potentiel de jeu (ici sa force) et est donnée soit à l'environnement (si la situation venait de l'environnement) soit au classeur précédemment déclenché (si la situation correspondait en fait à un message interne). Ensuite, le classeur récupère sa mise (ou une partie seulement) soit à partir d'un autre classeur qu'il aurait déclenché, soit de l'environnement (si l'action déclenchée donne un résultat intéressant). [NDA, 09].

#### 4. Les Algorithmes génétiques

Les systèmes de classeurs possèdent un mécanisme pour faire évoluer une population de classeurs : chaque classeur est évalué tout au long de l'interaction de l'agent avec l'environnement. Dans la plupart des systèmes de classeurs, la création et la sélection de classeurs fiables est réalisée par des algorithmes génétiques. Un algorithme génétique est appliqué à une population de classeurs (ou une fraction de celle-ci) et se déroule en générations successives. A chaque génération, des opérateurs de croisement et de mutation (présentés ci-dessous) permettent de créer de nouveaux individus à partir des meilleurs individus de la population, et un mécanisme de sélection supprime les moins bons. Ainsi, au fur et à mesure des générations, les individus sont de plus en plus adaptés à la résolution du problème [NDA, 09].

Le processus d'un algorithme génétique est généralement comme suit :

- Sélection d'un ou plusieurs individus *parents* dans la population,
- Création de nouveaux individus *filis* par copie directe des parents.
- Application de croisements et/ou de mutations sur ces nouveaux individus avec des probabilités fixes.
- Mise à jour de divers paramètres (valeur sélective. . .)
- Insertion de ces nouveaux individus dans la population.
- Suppression d'un certain nombre d'individus considérés comme inadaptés à la résolution du problème.

Les différents opérateurs utilisés par l'algorithme génétique pour la création de nouveaux individus sont :

a. **Crossover** :

Le crossover consiste, pour deux conditions, à s'échanger une partie de leurs attributs par croisement. Il existe plusieurs techniques pour le faire, les deux principales étant :

- **le one-point crossover** :

Consiste à échanger tous les attributs à partir d'un certain index choisi aléatoirement :



Figure 15:Opération du Crossover le one-point crossover.

- **le two-point crossover** :

Consiste à échanger tous les attributs contenus entre deux index choisis aléatoirement :



Figure 16:Opération du Crossover le two-point crossover.

## 5. Conclusion

Les systèmes de classeurs sont des systèmes constituent l'un des techniques d'apprentissage les plus utilisés dans les environnements mono et multi-agents. L'apprentissage dans les systèmes de classeurs est rendu possible par l'utilisation des règles de production de type « *si condition alors action* ». Les systèmes de classeurs construisent leur ensemble de règles de façon automatique ce qui leur permet de s'adapter à de nouvelles situations.

Après avoir présenté l'architecture et le fonctionnement général, la revue des différents types de systèmes de classeurs nous a permis d'opter pour l'utilisation des LCS dans notre projet. Les LCS permettent de réaliser un apprentissage artificiel en projetant de réaliser un objectif à court terme.

L'apprentissage réalisé par les LCS se base sur l'amélioration de la récompense immédiate des règles de production et consiste à maintenir les règles qui en produisent plus en supprimant celles qui en produisent peu, ce qui fait qu'il s'approche de notre cadre d'étude.



## **La Partie II : La Conception**

## **1. Introduction**

Notre travail vise à faire une simulation multi-agent d'un marché financier à l'aide d'un outil formel qui est la théorie des jeux évolutionniste. Cette simulation devra répondre aux questions posées en problématique qui tournent sur les stratégies de signalisation par le dividende.

Nous abordons dans ce chapitre la conception du modèle correspondant à notre sujet, en montrant la structure fonctionnelle et opérationnelle du système. Ainsi, notre démarche suit le cheminement suivant :

- Le choix du marché à modéliser.
- Le choix de la méthodologie SMA (voyelles).
- Le choix de la méthodologie de conception (OMT).
- L'analyse des composants du SMA (agents et microstructure).
- La conception du système.
- Nos systèmes classeurs.
- La conception de la base de données.
- Le développement du jeu.

## **2. Le choix du marché à modéliser**

L'asynchronisme dans le marché donne une liberté de décision et d'action aux agents qui le composent. La modélisation d'un marché financier à carnets d'ordres est beaucoup plus complexe que la modélisation d'un marché synchrone avec Market Maker par exemple, mais elle reste la modélisation la plus représentative des plus grands marchés financiers réels tels que l'Euronext, alors nous avons basé sur ce marché typique en essayant d'appliquer ses règles dans notre marché artificiel.

## **3. Le choix de la méthodologie SMA**

Pour la méthode de développement d'un système multi-agent, que nous avons cité dans la partie état de l'art (chapitre 02), nous avons choisi la méthodologie **Voyelles** pour modéliser notre système. Ce choix se justifie comme suit :

- Cette méthode repose sur la décomposition du système en cinq dimensions : **Agent**, **Environnement**, **Interaction**, **Organisation** et **Utilisateur**. Cette décomposition permet de modulariser le système, simplifier sa construction et offrir une meilleure réutilisation du code.

- Voyelles n'est couplée à aucune notation ni plateforme, ce qui offre la possibilité d'utiliser le langage AUML (Agent Unified Modeling Language), qui est une extension du langage UML, dans la phase de conception du système et la plateforme Jade pour réaliser le système.
- Voyelles repose sur des principes purement multi-agent

Cette méthodologie se décompose en trois phases : *Analyse, Conception et Implémentation.*

### **3.1. L'Analyse**

#### **3.1.1. Utilisateur**

Le travail présenté est destiné aux analystes et les spécialistes de la macro-économie, dépendamment des paramètres entrés, le système (la population ou plus précisément les agents) évolue d'une certaine manière et les utilisateurs peuvent tirer des conclusions suite à leurs observations des graphiques et des statistiques en sortie. Mais les firmes aussi peuvent l'utiliser afin de comparer entre les différentes stratégies concernant le dividende dans des situations données.

#### **3.1.2. Agents**

##### ***a. L'Agents Investisseur***

Ce sont des agents cognitifs qui réalisent les taches suivantes :

- Acheter et vendre des actifs financiers.
- S'informer du type d'une firme auprès d'un spéculateur.
- Toucher des dividendes ou des intérêts.

##### ***b. L'Agent Spéculateur***

Est un agent réactif, il réalise les taches suivantes :

- Analyser l'historique de la firme (informations privilégiées aux spéculateurs).
- Vendre des informations sur certaines firmes aux investisseurs.

##### ***c. L'Agent Distributeur-Projet***

Est un agent réactif, il réalise les taches suivantes :

- Créer des projets à réaliser pour les firmes
- Affecter des projets aux firmes pour l'investissement.

##### ***d. Agent Marché***

Est un Agent réactif, qui représentera le marché financier lui-même (le noyau du système), il aura pour tâches principales :

- Recevoir les ordres émis par les agents investisseurs et les enregistrer dans la Base de données.
- Trier les ordres selon les priorités:
  - leurs directions.
  - leurs types.
  - leurs prix.
  - leur temps d'arrivée.
- Communiquer le prix des actions aux investisseurs.
- Vérifier la satisfaisabilité de l'ordre avant la transaction.
- Effectuer les transactions.
- S'assurer du paiement.

#### *e. L'Agents Firme*

Ce sont des agents cognitifs, ils réalisent les tâches suivantes :

- Investir leur liquidité monétaire dans des projets.
- Émettre des nouveaux actifs pour couvrir une insuffisance éventuelle.
- Calcul du montant du dividende.

#### **3.1.3. L'Environnement**

- ***La liquidité*** : c'est la somme à la disposition de chaque agent qui lui permet d'acheter ou d'investir.
- ***Les projets*** : est une activité qui se déroule dans une durée, et qui nécessite une somme d'investissement au début, et qui apporte des bénéfices ou des pertes à la fin de cette durée, une probabilité de rentabilité est associée à chaque projet.
- ***Les actifs financiers*** : ce sont les actions et les obligations.
- ***Le carnet d'ordre.***

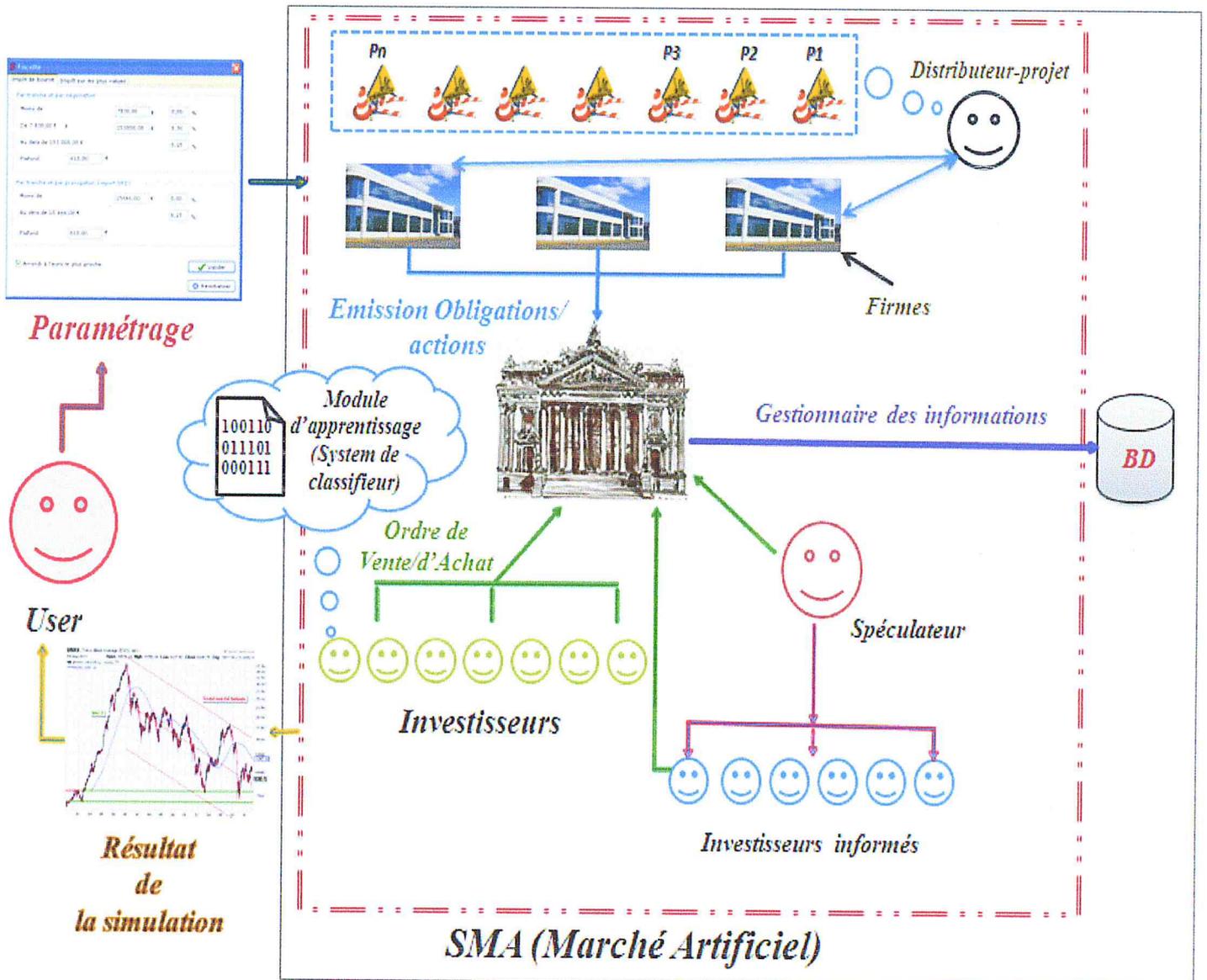


Figure 17: Architecture globale de notre système.

### 3.1.4. Les interactions

Comme nous l'avons dit auparavant, une interaction est une mise en relation dynamique de deux ou plusieurs agents par le biais d'un ensemble d'actions réciproques, c'est un élément nécessaire à la constitution des organisations.

Nous distinguons deux types d'interactions dans notre système :

- Les interactions entre les agents du système qui représentent les relations de compétitions, de dépendance et de collaboration entre nos agents.
- Les interactions entre le système et l'utilisateur à travers l'interface utilisateur qui permettent de lancer une simulation en entrant les paramètres voulus et d'en récupérer les résultats.

**a. Les interactions entre les Agents du Systèmes**

● ***Interactions Agent Investisseur - Agent Marché***

- Emettre un ordre d'achat ou de vente.
- Consulter les carnets d'ordres pour les titres du marché.

● ***Interactions Agent Marché - Agent Firme***

- Emission des actifs.
- Annoncer le dividende.

● ***Interactions Agent Investisseur - Agent Spéculateur***

- Demander information privilégié sur une firme.
- Réception d'une donnée indiquant le type de la firme.

● ***Interaction Agent Firme - Agent Distributeur-Projet***

- Demander la liste des projets disponible.
- Envoyer la liste des projets.
- Envoyer la liste des projets choisis.
- Exécuter la demande.

**b. Les interactions entre l'Utilisateur et le Système**

- Lancement d'une nouvelle simulation.
- Récupération des résultats d'une simulation.
- Sauvegarde des résultats.
- Administration des paramètres de la simulation.

**3.1.5. Organisation**

L'organisation est la structure décrivant comment les membres du système sont en relation afin d'atteindre un but commun en interagissant entre eux. L'organisation structurelle de notre système est donnée par la figure en bas. Toutes les interactions ne sont pas schématisées, nous n'avons gardé que les plus importantes.

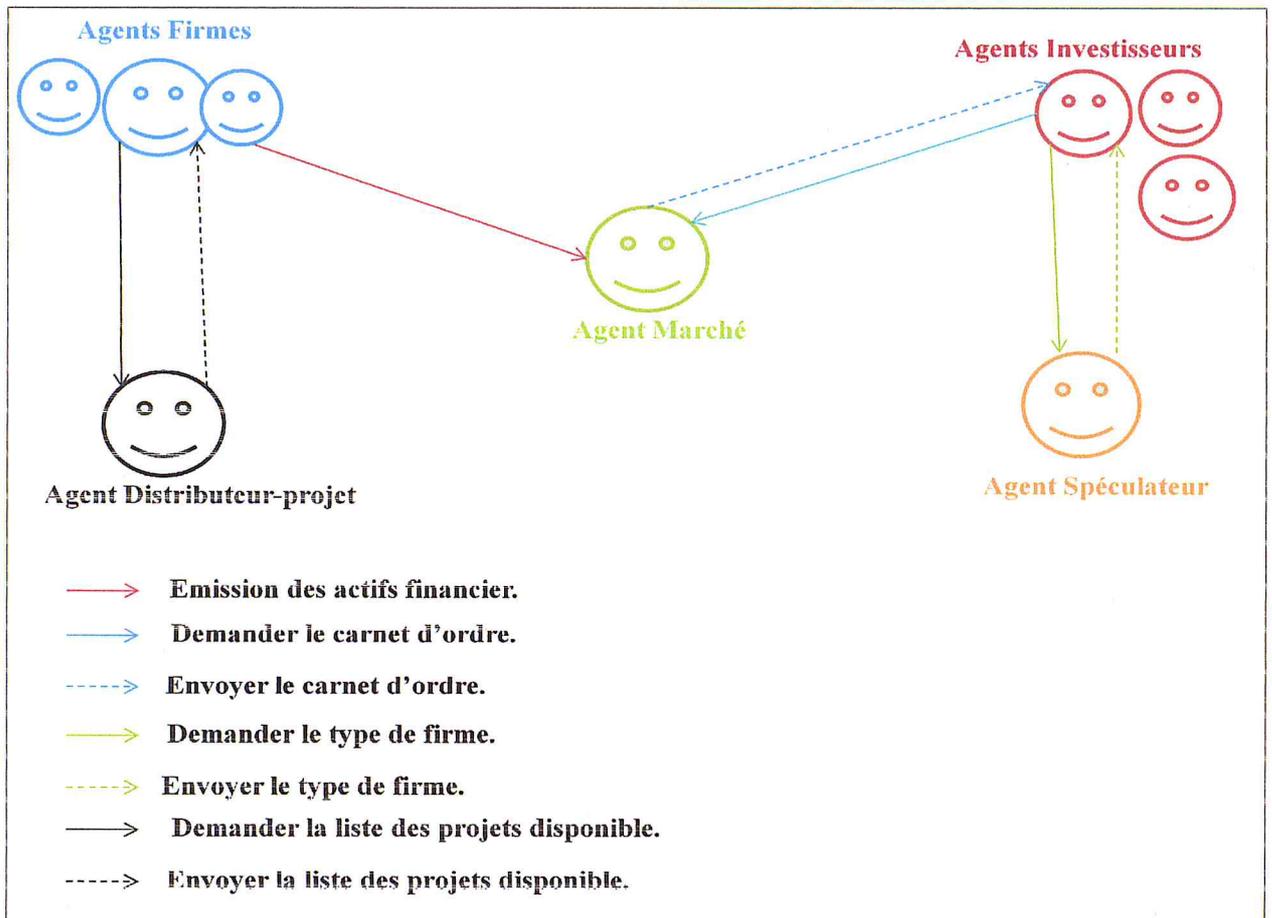


Figure 18: Organisation des SMA.

### 3.2. La conception du système

La conception est certainement la partie la plus importante de notre projet, en effet, c'est à cette étape que nous affinons notre analyse en introduisant la structure opérationnelle des composantes de notre marché financier artificiel.

Pour enrichir la conception de notre système nous allons utiliser les diagrammes proposés par la méthode de conception OMT (Object Modelling Technique). La conception de cette méthode est basée sur les trois axes (fonctionnel, dynamique et statique).

La figure suivante détaille les trois axes de cette méthode :

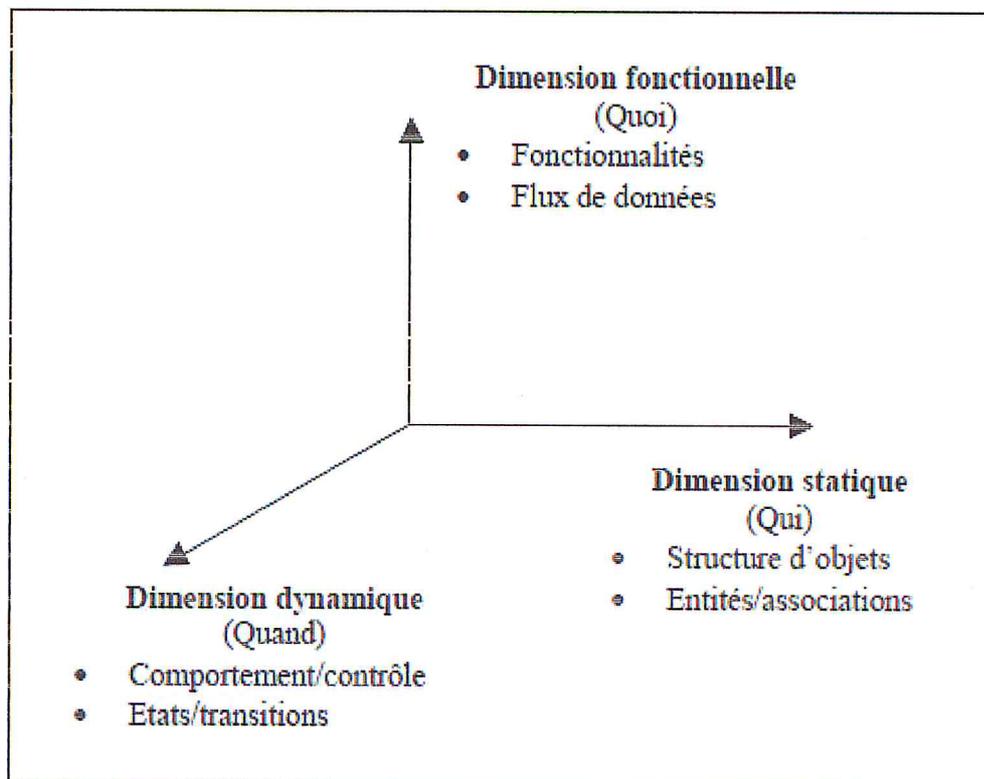


Figure 19: Représentation des 3 axes de description d'un système selon OMT.

Nous allons commencer par le diagramme de cas d'utilisation, ensuite nous détaillons les interactions entre les différents agents de notre système, suivi par la conception interne de chaque agent en représentant leur comportement en termes d'action et en termes d'architecture interne, ainsi que les modules d'apprentissage de chaque agent cognitif. A la fin de cette partie, on va modéliser notre base de données, accompagné de la présentation de notre modèle de jeu.

### 3.2.1. Diagramme de Cas d'utilisation

Ce diagramme est utilisé pour donner une vision globale du comportement fonctionnel de notre système. Nous utilisons le diagramme de cas d'utilisation pour expliquer les différentes interactions entre le système et l'utilisateur.

#### Description du diagramme

L'Analyste économique peut être un analyste recruté par une firme utilise ce système pour aider les dirigeants à prendre des bonnes décisions ou bien un analyste indépendant (comme les ministères de finance ou les commissariats de bourse). L'utilisateur crée une nouvelle simulation en administrant les paramètres (comme la durée de la simulation, les caractéristiques de chaque agent), il sélectionne les agents

qui seront analysées (qui participent à la simulation). L'utilisateur peut suspendre la simulation à n'importe quel moment, il peut finalement lire les résultats obtenus de cette simulation sous forme d'objets graphiques, comme il peut les sauvegarder sous forme d'images ou tableaux.

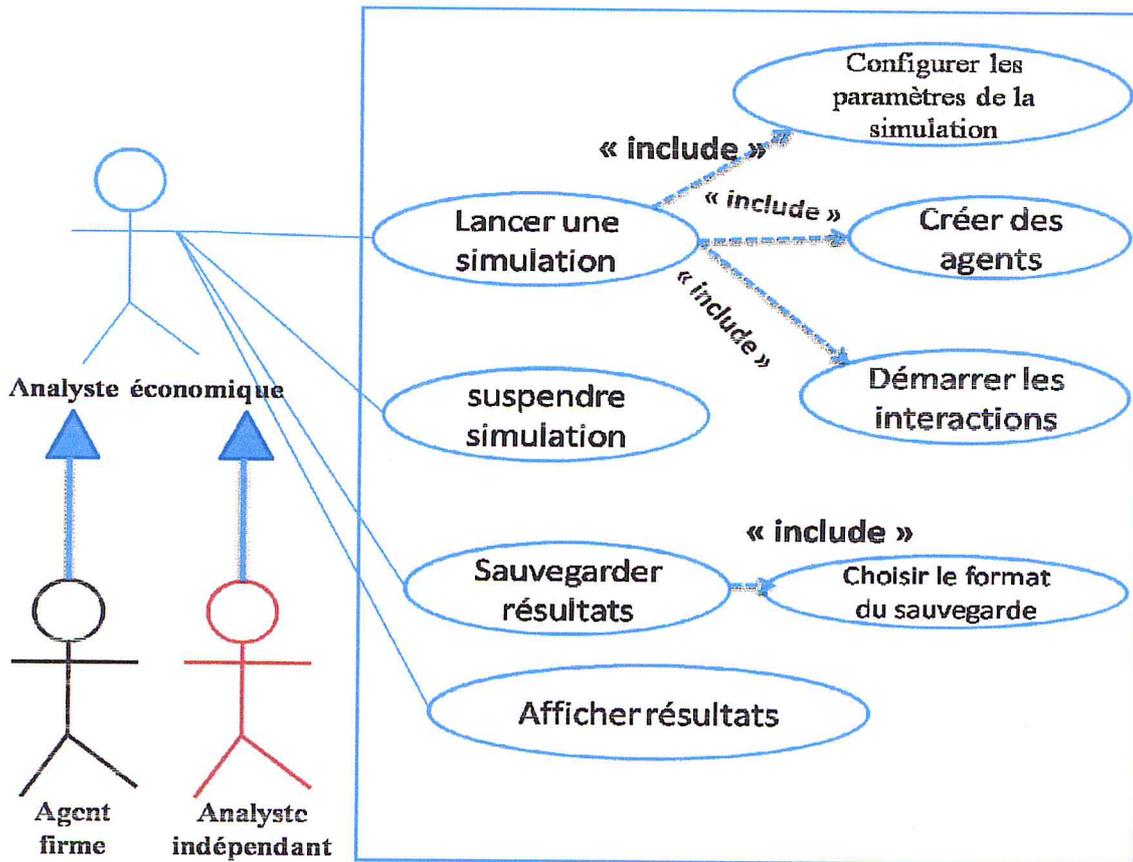


Figure 20: Cas d'utilisation système global.

### 3.2.2. Diagramme d'interaction des Agents dans le système

#### a. Diagramme d'interaction Agent Spéculateur – Agent Investisseur

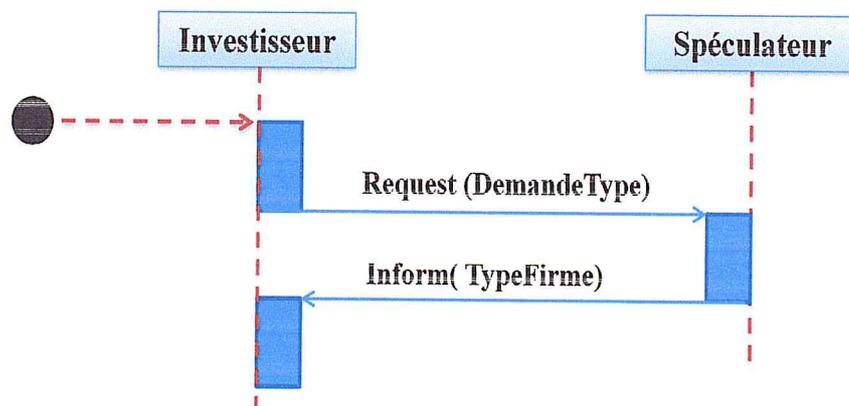
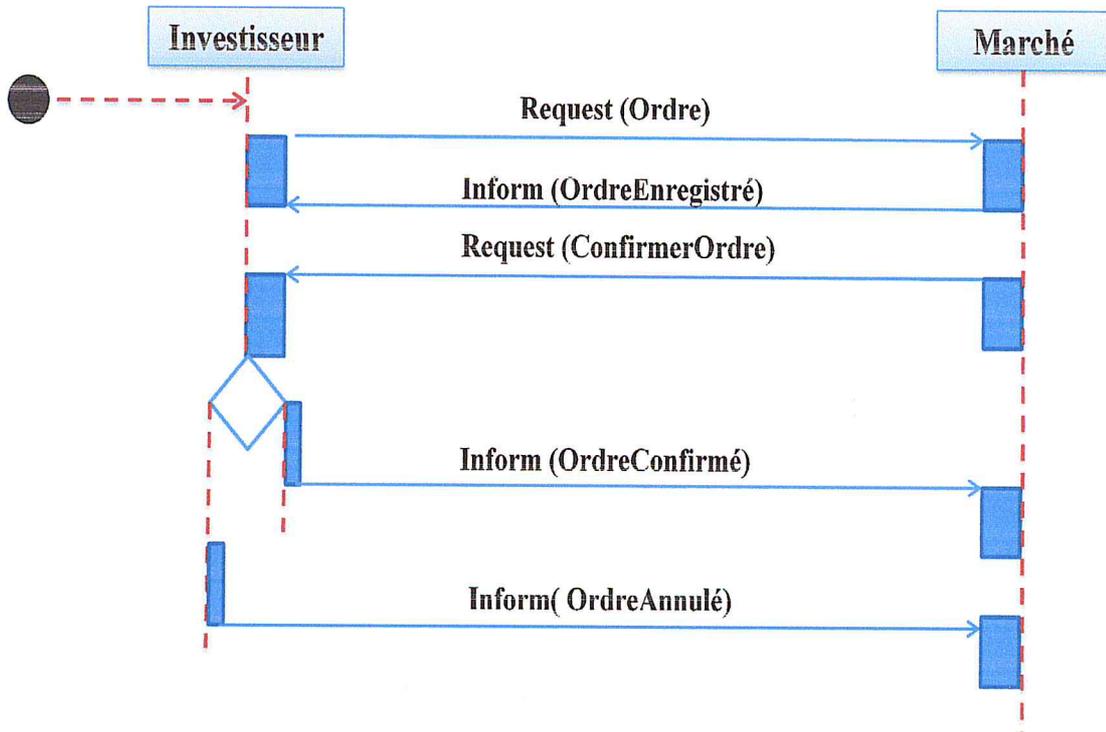


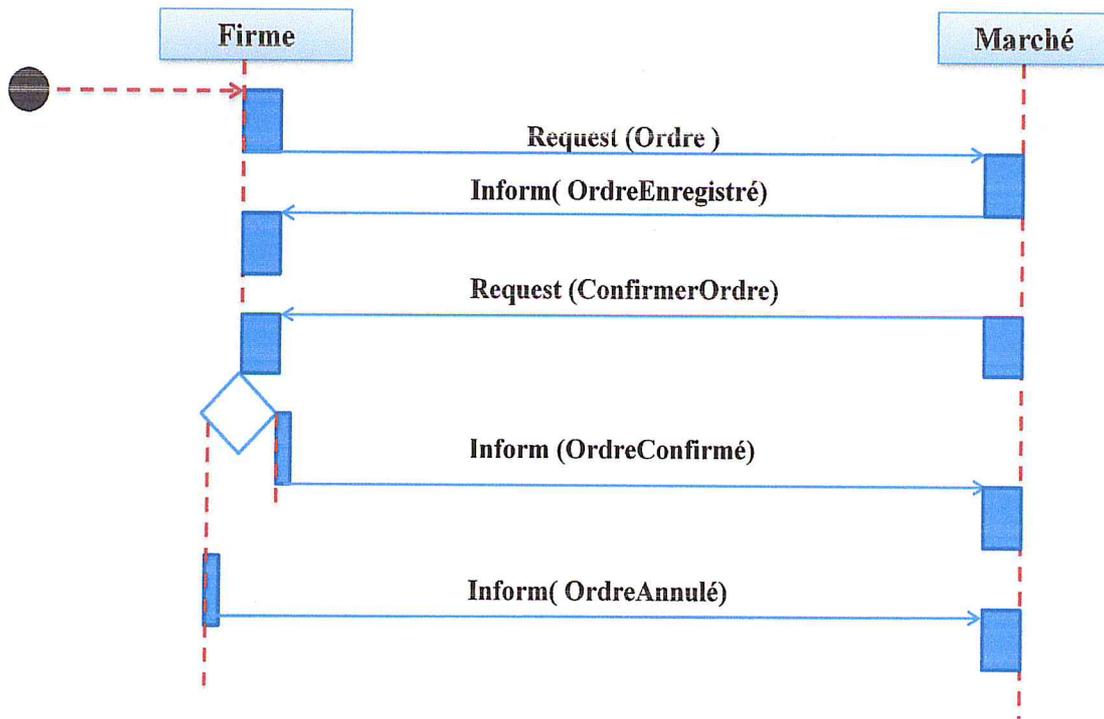
Figure 21: diagramme d'interaction spéculateur-investisseur.

*b. Diagramme d'interaction Agent Investisseur – Agent Marché*



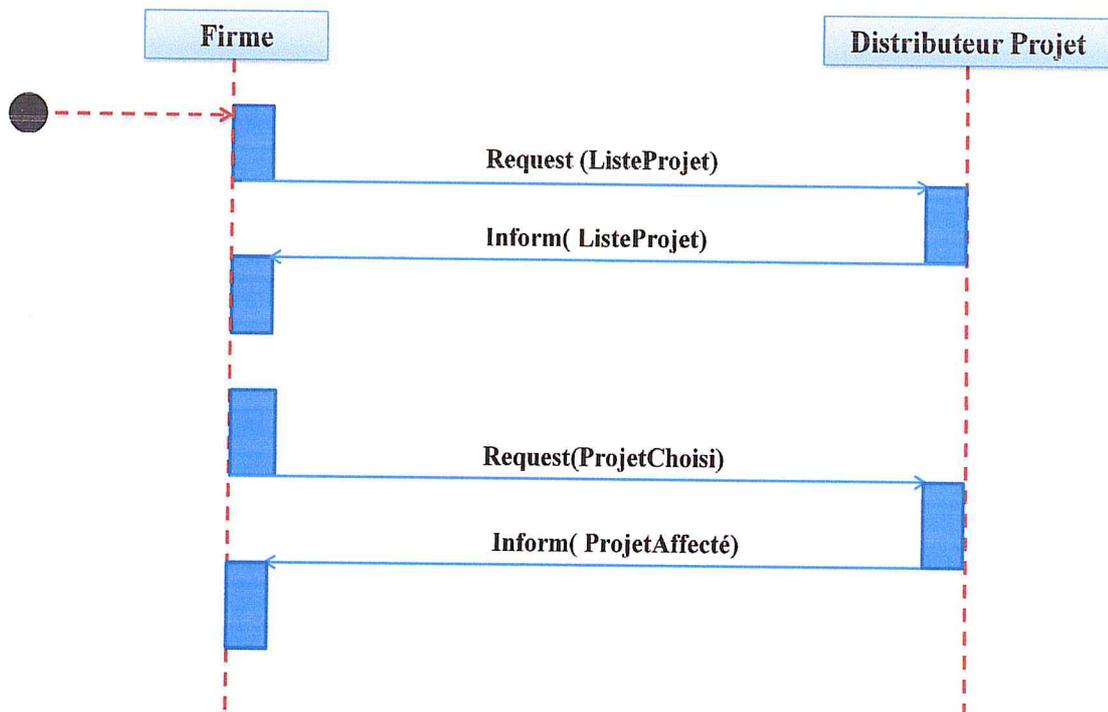
*Figure 22:diagramme d'interaction investisseur-marché.*

*c. Diagramme d'interaction Agent Firme – Agent Marché*



*Figure 23:Diagramme d'interaction firme-marché.*

*ü. Diagramme d'interaction Agent Firme – Agent Distributeur-projet*



*Figure 24:Diagramme d'interaction Firme-Distributeur.*

#### 4. Le modèle du jeu dividende

Après les travaux de recherche que nous avons étudiés dans l'état de l'art (chapitre 04) et qui ont traité l'importance de la politique de la signalisation par le dividende, nous avons conçu notre propre modèle dont on va traiter la problématique. Cependant les joueurs ne sont plus des variables mais plutôt des agents avec un certain niveau d'intelligence, de perception et de mémorisation.

Le jeu qu'on a conçu est un à information incomplète (car les joueur n'ont pas toute les informations mais ils en possèdent qu'une partie).

Notre modèle basé sur la théorie des jeux évolutionniste, répond aux différents compromis et alternative qu'on a vue dans les modèles du chapitre 4.

Les modèle FAIRCHILD, GABILLON et CHIN BUN TSE (voir chapitre 4) produisent un certain monde virtuel que nous avons jugé capable de fournir une étude aisé d'un phénomène financier réel car ils ont traité des aspects très importants pour décider un niveau de dividende à annoncer sous des situations très complexes.

Notre système est composé de 2 types de joueurs qui sont les firmes et les investisseurs.

#### 4.1. Déroulement du jeu

Notre système est supposé périodique, chaque période représente une année financière du monde réel. A chaque année les joueurs jouent CyA fois, et à chaque cycle CyA les joueurs choisissent une stratégie, l'exécutent et attendent que leurs actions soient récompensées par le reward.

#### Algorithme de la dynamique général du joueur firme

*Début*

*Tant que simulation non terminé*

*Faire Tant que date Ex dividende n'est pas arrivé*

*Faire Signaler un dividende.*

*Pour i=1 jusqu'à CyA*

*Faire penser à l'investissement.*

*Penser au financement.*

*Fait*

*Fait*

*Fait*

*Fin*

#### Algorithme de la dynamique général du joueur investisseur

*Début*

*Tant que simulation non terminé*

*Faire Pour i=1 jusqu'à CyA*

*Faire Choisir une firme aléatoirement.*

*Mettre à jour de l'expérience Exp*

*Penser à s'informer sur une firme*

*auprès du spéculateur.*

*Penser à envoyer des ordres de bourse*

*concernant cette firme*

*Fait*

*Fait*

*Fait*

*Fin*

## 4.2. Description du jeu

D'après les systèmes classeurs (voir système classeurs des agents firme et investisseur), on remarque que :

- CS INV : un choix de 2 possibilités.
- CS FNC : un choix de 4 possibilités.
- CS DIV : un choix de 4 possibilités.
- CS INF : un choix de 2 possibilités.
- CS ACH : un choix de 7 possibilités.
- CS VNT : un choix de 7 possibilités.

Suivant l'étude détaillée de chaque agent, il y a 32 stratégies possibles pour une firme, puisque elle doit passer par les trois systèmes de classeurs (un de CS INV et un de CS FNC et un de CS DIV). Alors pour les investisseurs, on trouve qu'on a 28 stratégies différentes (un de CS INF et (un de CS ACH ou un de CS VNT)).

	Fnc=1		Fnc=2		Fnc=3		Fnc=4	
<b>Div=1</b>	Inv=1	sf=1	Inv=1	sf=9	Inv=1	sf=17	Inv=1	sf=25
	Inv=2	sf=2	Inv=2	sf=10	Inv=2	sf=18	Inv=2	sf=26
<b>Div=2</b>	Inv=1	sf=3	Inv=1	sf=11	Inv=1	sf=19	Inv=1	sf=27
	Inv=2	sf=4	Inv=2	sf=12	Inv=2	sf=20	Inv=2	sf=28
<b>Div=3</b>	Inv=1	sf=5	Inv=1	sf=13	Inv=1	sf=21	Inv=1	sf=29
	Inv=2	sf=6	Inv=2	sf=14	Inv=2	sf=22	Inv=2	sf=30
<b>Div=4</b>	Inv=1	sf=7	Inv=1	sf=15	Inv=1	sf=23	Inv=1	sf=31
	Inv=2	sf=8	Inv=2	sf=16	Inv=2	sf=24	Inv=2	sf=32

Tableau 8: Les stratégies des firmes.

Où  $sf_i = y$  représente que la firme  $i$  a adopté la stratégie  $y$ . De la même manière, on numérote les stratégies de l'investisseur ( $si_j = x$ ) et on obtient un nouveau jeu dont les joueurs sont décrits précédemment, et les stratégies sont la décision de chaque classeur pour un joueur donnée.

Notation :  $sf_{-i} = y$  signifie que la majorité des firmes sauf la firme  $i$  ont adopté une stratégie  $y$ . Pareil pour ( $si_{-j} = x$ ) qui signifie que la majorité des investisseurs sauf l'investisseur  $j$  ont pris la stratégie  $x$ .

### 4.3.Représentation formelle du jeu

Comme tout jeu en théorie des jeux, le jeu de signalisation par le dividende que nous développons peut être représenté sous forme stratégique. Le jeu étant constitué de F+I joueur, les ensembles des stratégies décrits ci-haut notés SI avec  $\text{Card}(\text{SI})=28$  et SF avec  $\text{Card}(\text{SF})=32$ . Le joueur peut être une firme ou un investisseur mais pas les deux, donc le nombre de stratégies disponibles à chaque joueur sont soit 32 (cas firme) soit 28 (cas investisseur) Chaque joueur connaît l'ensemble des stratégies S mais elle ne connaît pas le résultat de sa fonction d'utilité. Pour un joueur i la fonction d'utilité d'une action n'est pas connue avant son exécution mais les actions prises par les autres joueurs et l'état global du marché donne une information partielle. A partir de cette information les joueurs peuvent estimer de façon adaptative l'utilité de leurs actions à l'aide d'un system d'apprentissage.

Joueur i	-i = tous les joueurs sauf i			
	$sf_{-i} = 1 \text{ et } si_{-i}=1$	$sf_{-i} = 1 \text{ et } si_{-i}=2$	...	$sf_{-i} = 32 \text{ et } si_{-i}=28$
$sf_i=1 \text{ ou } si_i=1$	$f(1, 1, 1)$			
...	...			
$sf_i=28 \text{ ou } si_i=28$	...			$f(28, 32, 28)$
...	...			
$sf_i= 32$	$f(32, 1, 1)$	$f(32, 1, 2)$		

Tableau 9: Représentation formelle du jeu.

## 5. La conception interne des Agents

### 5.1. Agent firme

#### 5.1.1. Diagramme d'activité de l'Agent Firme

La firme a certaines activités financière en plus de ses activités industrielles ou autres domaines, la signalisation par le dividende en fait partie. La firme cotée en bourse peut à n'importe quel moment demander de la liquidité en émettant des actions ou des obligations, donc au marché primaire, l'endettement sert à financer des projets plus ou moins risqués, le choix de projets se fait d'une manière simple : le projet le moins risqué et qui ne dépasse pas mon budget est le bon. Autrement dit ce le projet dont

$\frac{1}{\text{Risque}}$  est maximal et  $LP < LF$  (voir le tableau N° 32). La firme communique avec la base de données, et par des messages avec le marché ou le distributeur.

La firme incapable de payer ses dettes est exclue de la simulation et sa richesse est remise à zéro, la firme envoie des ordres de vente seulement, le prix qu'elle offre est le prix de la dernière transaction de son titre, et la quantité demandée est supposée égale à  $2 * LP$ . La demande de projet se fait CyA fois par an.

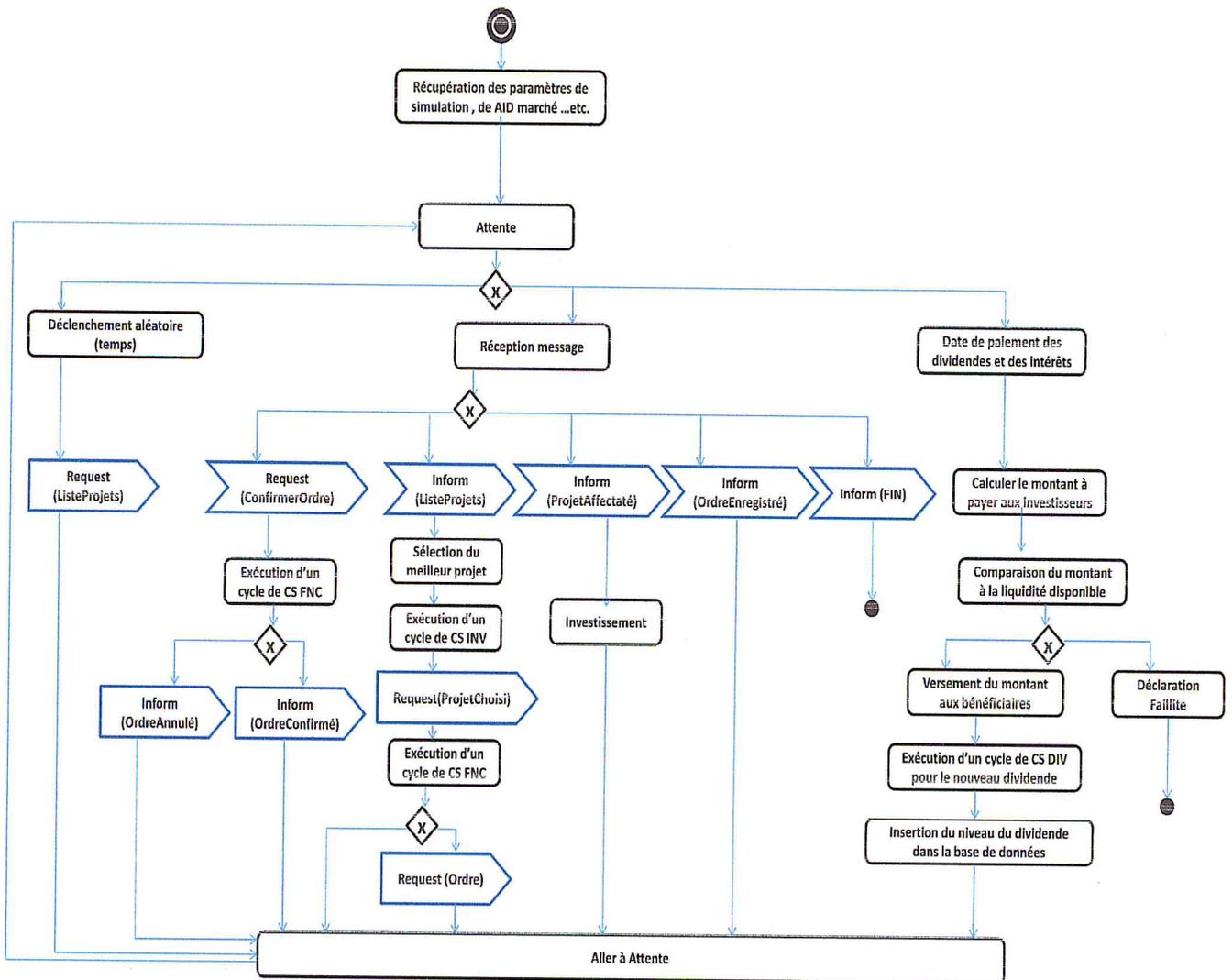


Figure 25: Diagramme d'activité de l'Agent Firme.

### 5.1.2. Architecture interne de l'agent firme

L'architecture interne de l'agent firme se compose du quatre (04) modules de base en plus d'un module d'apprentissage, ces modules sont les suivants :

- Les Détecteur qui permettent d'acquérir des informations de son environnement.
- Un module de Communication qui représente les interactions d'un agent firme avec le monde externe.
- Des modules d'apprentissage qui permettent de générer les règles valides et de créer de nouvelles règles en cas de situations inconnues (Système de Classeur), ce module est composé lui-même en trois (03) modules d'apprentissage qui sont :

- ♦ *CS INV* : qui permet à l'agent firme d'investir ou pas dans des projets.
  - ♦ *CS FNC* : selon la décision de *CS INV*, il permet à l'agent firme d'émettre soit des actions, soit des obligations ou bien de s'autofinancer.
  - ♦ *CS DIV* : selon la décision de *CS FNC* permet à l'agent firme d'annoncer soit un dividende Elevé, soit moyen, nul ou bien bas.
- Des modules de décision permettant le choix de la meilleure règle.
  - Des modules d'Actions qui permettent d'exécuter le plan choisi.

Ces CS sont quasi séquentiels. Selon la situation de l'agent dans l'environnement, il appelle le CS INV en suite communique la décision au CS FNC, et à chaque nouvelle année, l'agent firme exécute un cycle CS DIV pour calculer le dividende à signaler. Le détecteur forme la condition en récupérant des informations de l'environnement et de la base de données, après décision l'agent effectue l'action choisi. Le schéma suivant représente l'architecture interne de l'agent firme.

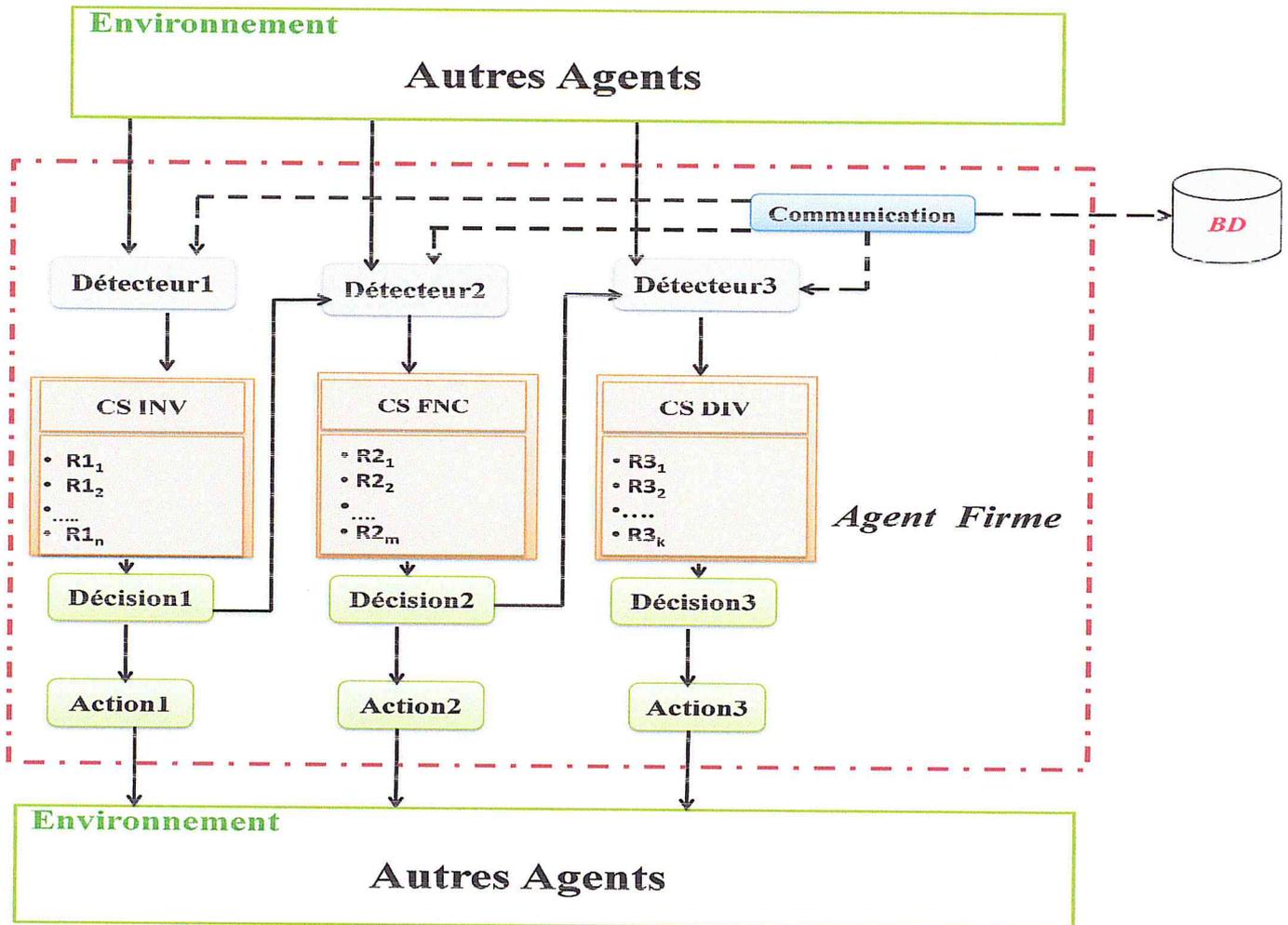


Figure 26: L'Architecture interne de l'Agent Firme.

### 5.1.3. Systèmes classeurs de l'agent firme

➤ *Le 1<sup>er</sup> système classer de l'agent firme: Investissement (CS INV)*

*a. L'action*

Investir dans des projets ou bien ne pas investir. Elle est représentée sur 1 bit.

*b. Les conditions*

Elle est représentée sur 7 bits. Les conditions sont :

- La disponibilité des investisseurs (**DI**).
- La situation économique (**SE**).
- Suffisance de la liquidité (**SLF**).
- Le reste de la durée des projets en cour (**Durée**).
- Le risque des projets choisis (**NR**).
- Type de firme (**TF**).

c. La structure du 1<sup>er</sup> système classeur de l'agent firme

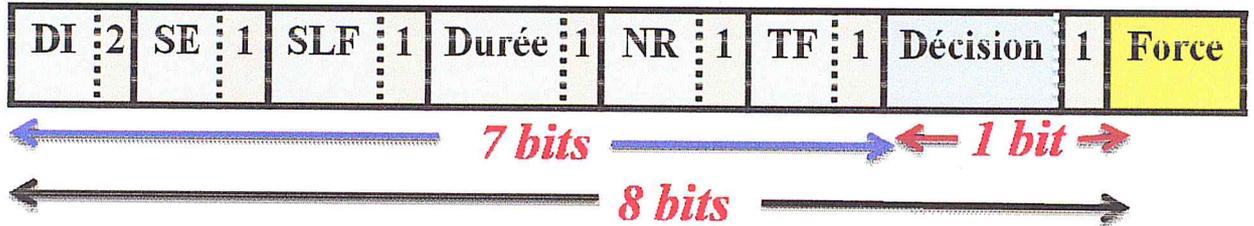


Figure 27: la structure du 1er système classeur de l'Agent Firme.

d. La codification

❖ La partie condition

• *DI (Disponibilité des investisseurs)*

C'est le rapport du nombre des investisseurs sur le nombre des firmes :

Le DI prend sa valeur de la contrainte suivante :  $Y_1 < I < Y_2$

- Si  $DI < Y_1$  alors très faible.
- Si  $DI$  entre  $Y_1$  et 1 alors faible.
- Si  $DI$  entre 1 et  $Y_2$  alors Moyen.
- Si  $DI > Y_2$  alors élevé.

Elle est représentée sur deux bits.

Condition	Code	Valeur (poids)
$DI < Y_1$	00	1
$Y_1 < DI < 1$	01	2
$1 < DI < Y_2$	10	3
$DI > Y_2$	11	4

Tableau 10: Codification de la Disponibilité des Investisseurs.

• *SE (Situation Economique)*

Elle est représentée sur un seul bit. La situation économique des firmes est :

- Si  $FRP < 1$  Alors SE=encourageante
- Si  $FRP \geq 1$  Alors SE=décourageante

Condition	Code	Valeur (poids)
Encourageante	1	2
Décourageante	0	1

Tableau 11: Codification de la Situation Economique.

- **SLF (Suffisance de la liquidité)**

La liquidité de la firme soit suffisante si la somme d'investissement dans des projets est égale à la moitié de sa liquidité, sinon elle sera insuffisante pour investir dans des nouveaux projets. La suffisance de la liquidité est représentée sur un seul bit.

- Si  $LF < (D * nbrA + tx * Obligation * nbrO + LP) * 2$  alors SLF est insuffisante.
- Si  $LF \geq (D * nbrA + tx * Obligation * nbrO + LP) * 2$  alors SLF est suffisante.

Condition	Code	Valeur (poids)
<i>Insuffisante</i>	0	1
<i>Suffisante</i>	1	2

Tableau 12: Codification de La Suffisance de la liquidité.

- **Durée (Le reste de la durée des projets en cour)**

Cette durée est soit. Elle est représentée sur un seul bit

- Si  $MDRPA > \frac{MDPA}{2}$  alors La durée restante est courte
- Si  $MDRPA < \frac{MDPA}{2}$  alors La durée restante est longue.

$\forall k$  Où k est un projet encours d'exécution affecté à cette firme.

Condition	Code	Valeur (poids)
<i>Duree=courte</i>	0	1
<i>Duree=longue</i>	1	2

Tableau 13: Codification du reste de la durée des projets en cour.

- **NR (Le niveau du risque du Projet choisi)**

Risque : c'est le risque attribué à un projet. Le risque de projet est représenté sur un seul bit.

- Si  $Risque \geq 1$ , Alors NR élevé.
- Si  $Risque < 1$ , Alors NR bas.

Condition	Code	Valeur (poids)
<i>Risque &lt; 1</i>	0	1
<i>Risque ≥ 1</i>	1	2

Tableau 14: Codification du niveau de risque du projet.

- **TF (Type de firme)**

Ce paramètre va occuper un seul bit selon la liquidité disponible pour cette firme. Si la firme fait appel à ProbTypeFirme elle met Exp inexistant et récupère gratuitement sa valeur comme indiqué dans le Tableau N° 32.

Si c'est un investisseur, le TF peut avoir 3 moyens pour le calculer :

- Si c'est un actionnaire, il met Exp existant et fait appel à ProbTypeFirme.
- Si c'est un investisseur ayant le droit de s'informer il fait appel à ProbTypeFirme et met Exp à inexistant.
- Sinon il fait un choix entre CS ACH ou CS VNT au hasard

Comment déterminer TF ?

- Si  $ProbTypeFirme \geq 0$  alors TF=Bonne.
- Si  $ProbTypeFirme < 0$  alors TF=Mauvaise.

Condition	Code	Valeur (poids)
$TF > 0$	1	2
$TF < 0$	0	1

Tableau 15: Codification de type de la firme.

❖ **La partie action**

L'Agent firme doit choisir soit. Elle est représentée sur un seul bit.

- Investir dans le projet.
- Ne pas investir dans le projet.

**Remarque :** Une firme investie comme l'investisseur, 50 % de sa liquidité à chaque cycle CyA :

Action	Code	Valeur (poids)
<i>Ne pas investir</i>	0	1
<i>investir</i>	1	2

Tableau 16: Codification de l'action d'investissement

**e. Le reward**

Le reward de ce système de classer est calculé selon ses conditions comme suit :

- Si Action= « Investir »

$$Reward = \frac{(DI + SE + SLF + TF - Durée - NR)}{10}$$

Équation 6: Le Reward du CS INV, le cas « investir ».

- Si action = « Ne pas investir»

$$Reward = 1 - \frac{(DI + SE + SLF + TF - Durée - NR)}{10}$$

Équation 7: Le Reward du CS INV, le cas « ne pas investir ».

Pour ce classeur, on pousse l'agent à prendre en charge un nouveau projet si certaines conditions (les investisseurs sont disponibles, la situation économique est bonne, la liquidité est suffisante...etc.) sont satisfaites et si d'autres conditions (comme la durée restante des projets en cours et le risque de ce nouveau projet) sont minimales.

➤ *Le 2<sup>em</sup> système classificateur de l'agent firme: Emettre des actifs financiers (CS FNC)*

*a. L'action*

Emettre des actions, s'autofinancer, obligations ou bien ne rien faire. Elle est représentée sur 2 bits.

*b. Les conditions*

Elle est représentée sur 3 bits. Les conditions sont :

- Suffisance de la liquidité (SLF).
- Type de firme (TF).
- La firme est active, elle a au moins un projet en cours (FA)

*c. La Structure du 2<sup>em</sup> système classificateur de l'agent firme*

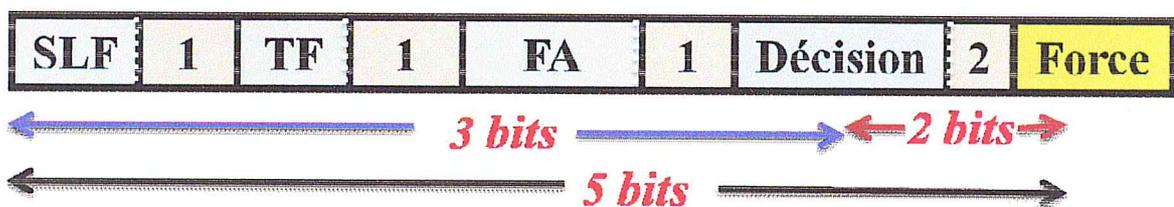


Figure 28: La structure du 2<sup>em</sup> système classificateur de l'Agent Firme.

*d. La codification*

❖ **La partie condition**

- *SLF (Suffisance de la liquidité)*

La même codification que le système classificateur CS INV.

- *TF (Type de firme)*

La même codification que le système classificateur CS INV.

- **FA (FirmeActive)**

Ce paramètre va occuper un seul bit :

- Si la firme a au moins un projet un projet non achevé alors Firme Active
- Si la firme n'a aucun projet encours alors Firme n'est pas Active

Condition	Code	Valeur (poids)
<i>Firme Active</i>	1	2
<i>Firme n'est pas active</i>	0	1

Tableau 17: Codification de FA.

❖ **La partie action Fnc**

L'agent firme doit émettre des actions à la meilleure limite, s'autofinancer, émettre des obligations ou bien ne rien faire. Elle est représentée sur 2 bits.

Action	Code	Valeur (poids)
<i>Ne rien faire</i>	00	1
<i>S'autofinancer</i>	01	2
<i>Emettre des Obligations</i>	10	3
<i>Emettre des actions</i>	11	4

Tableau 18: Codification de l'action émettre des actifs financier.

**Remarque :**

Pour déterminer le prix de l'action il y a deux cas : soit au prix de la dernière transaction si le titre est déjà coté, soit à un prix initial fixé par la firme si elle n'est pas encore cotée en bourse.

Pour déterminer la quantité actions/obligation, la firme calcule la liquidité manquante pour que la condition SLF soit suffisante.

**e. Le reward**

La règle sera évaluée selon l'action prise par l'agent firme :

- Si l'action= « Ne rien faire »

$$\text{Reward} = 2 - FA$$

Équation 8: Le Reward du CS FNC le cas ne rien faire.

Si la firme n'est pas active, elle est récompensé par 1 si elle choisit de ne pas envoyer des ordres (elle n'a pas besoin de liquidité tant qu'elle ne fait rien) et 0 sinon.

- Si l'action = «Emettre obligations » :

$$\mathbf{Reward} = \frac{\mathbf{FA}}{\mathbf{SLF} + \mathbf{TF}}$$

*Équation 9: Le Reward du CS FNC, le cas émettre des obligations.*

Selon le modèle de Gabillon (chapitre 4) les bonnes firmes ont intérêt de lancer des actions que des obligations, c'est pour cette raison que le TF soit un dénominateur, pareil pour SLF, il vaut mieux passer a s'auto-financier qu'à émettre des obligations quand la liquidité est disponible.

- Si l'action = «S'autofinancer» :

$$\mathbf{Reward} = \frac{(\mathbf{SLF} + \mathbf{FA})}{2 * \mathbf{TF}}$$

*Équation 10: Le Reward du CS FNC, le cas de s'autofinancer.*

Avec le même raisonnement, si SLF est grand, ce choix est conseillé, surtout pour les mauvaises firmes (dont le TF est relativement petit)

- = Si l'action – « Emettre des actions à la meilleure limite » :

$$\mathbf{Reward} = \frac{(\mathbf{FA} + \mathbf{TF})}{4 * \mathbf{SLF}}$$

*Équation 11: Le Reward du CS FNC, le cas d'émettre des actions à la meilleure limite.*

Ce choix est conseillé pour les bonnes firmes, quand elles sont actives et la liquidité est insuffisante, elles peuvent émettre des ordres en action pour obtenir de la liquidité.

➤ *Le 3<sup>em</sup> système classer de l'agent firme : Niveau de dividende (CS DIV)*

#### *ũ. L'action*

La firme Annonce un dividende soit nul, bas, moyen ou bien élevé pour ses actions. Elle est représentée sur 2 bits.

#### *b. Les conditions*

Elle est représentée sur 11 bits. Les conditions sont :

- Type de firme (TF).
- Le risque des projets (MRP).
- La situation économique (SE).
- La moyenne du dividende déjà pays par les autres firmes (MoyD).
- La suffisance de la liquidité (SLC).

c. La structure du 3<sup>em</sup> système classer de l'agent firme

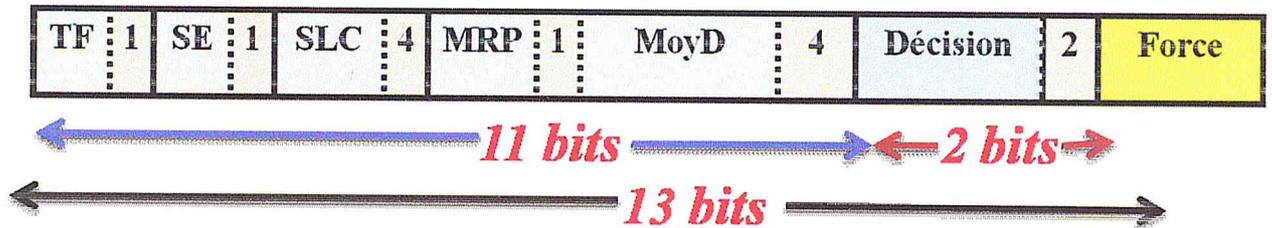


Figure 29: La structure du 3<sup>em</sup> système classer de l'Agent Firme.

d. La Codification

❖ La partie condition

- *TF (Type de firme)*

La même codification que le système classer *CS INV*.

- *MRP (la moyenne de risque des projets actifs)*

Le risque des projets est la moyenne des risques des projets choisis. Le risque de projet est représenté sur un seul bit.

- Si  $MRP \geq 1$ , Alors risqué.
- Si  $MRP < 1$ , Alors n'est pas risqué.

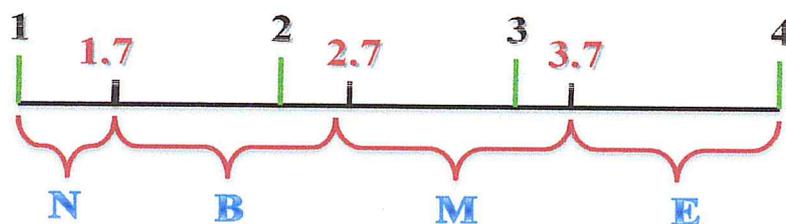
Condition	Code	Valeur (poids)
$MRP < 1$	0	1
$MRP \geq 1$	1	2

Tableau 19: Codification du moyen de risque des projets actifs.

- *SE (Situation Economique)*

La même codification que le système classer *CS INV*.

- *NMoyD (Niveau du Moyen de dividende)*



- Si  $MoyD > 3.2$  alors élevé.
- si  $3.2 > MoyD > 2.7$  alors moyen.
- si  $2.7 > MoyD > 1.7$  alor bas.

- si  $MoyD < 1.7$  alors nul.

Condition	Code	Valeur
NMoyD = élevé	11	4
NMoyD=moyen	10	3
NMoyD=bas	01	2
NMoyD=nul	00	1

Tableau 20: Codification du niveau moyen de dividende.

• **SLC (la suffisance de liquidité cachée)**

Elle est représentée sur deux bits.

- Si  $DElv * NbrA + TX * Obligation < \frac{1}{2} * LF$  alors élevé.
- Si  $DMoy * NbrA + TX * Obligation < \frac{1}{2} * LF \leq DElv * NbrA + TX * Obligation$  alors moyen.
- Si  $DBas * NbrA + TX * Obligation < \frac{1}{2} * LF \leq DMoy * NbrA + TX * Obligation$  alors bas.
- Si  $DBas * NbrA + TX * Obligation \geq \frac{1}{2} * LF$  alors nul.

Condition	Code	Valeur (poids)
<i>SLC= élevé</i>	11	1
<i>SLC = moyen</i>	10	2
<i>SLC= bas</i>	01	3
<i>SLC=nul</i>	00	4

Tableau 21: Codification de la suffisance de liquidité cachée.

❖ **La partie action**

L'agent firme peut annoncer un dividende élevé, moyen, bas ou bien nul. Elle est représentée sur 2 bits.

Le montant du dividende sur le cours de l'action représente *le nivo du dividende*.

Pour déterminer le niveau, on utilise 3 paramètres donnés par l'utilisateur.

Soit  $X_1, X_2, X_3$  tel que :  $X_1 < X_2 < X_3$ .

- Si  $X_1 > D/Cours$  alors nul.
- Si  $X_1 < D/Cours < X_2$  alors bas.
- Si  $X_2 < D/Cours < X_3$  alors moyen.

- Si  $X3 < D/Cours$  alors élevé.

Pour déterminer le montant on fait :

- Si nul alors  $DNul = Cours * X1 / 2$ .
- Si bas alors  $DBas = Cours * X2 / 2$ .
- Si moyen alors  $DMoy = Cours * X3 / 2$ .
- Si élevé alors  $DElv = Cours * 3 * X3 / 2$ .

Action	Code	Valeur (poids)
<i>Nul</i>	00	1
<i>Bas</i>	01	2
<i>Moyen</i>	10	3
<i>Elevé</i>	11	4

Tableau 22: Codification de l'action annoncer dividende.

#### e. Le reward

Le reward de ce système de classeur est calculé selon les conditions et l'action en sortie et il est exprimé algorithmiquement cas par cas :

On calcule l'expression :  $E = MoyD + SE + SLC + TF - MRP$ .

D'après les tableaux de codification, on trouve que la plus petite valeur prise par E est 2 (1+1+1+1-2) et la plus grande valeur est 9 (4+2+2+2-1).

D'où on peut créer 4 niveaux :

- $N_1$  si  $E \in \{2,3\}$ .
- $N_2$  si  $E \in \{4,5\}$ .
- $N_3$  si  $E \in \{6,7\}$ .
- $N_4$  si  $E \in \{8,9\}$ .

**L'algorithme :**

**DEBUT**

```

si le niveau =  $N_1$ 
  si TF=1
    si action =1 alors reward=1 fin si
    si action =2 alors reward=0.75 fin si
    si action =3 alors reward=0.5 fin si
    si action =4 alors reward=0 fin si
  fin si
  si TF=2
    si action =1 alors reward=0.8 fin si
    si action =2 alors reward=0.8 fin si

```

```

    si action =3 alors reward=0.7 fin si
    si action =4 alors reward=0.5 fin si
fin si
fin si
si le niveau = N2
    si TF=1
        si action =1 alors reward=0.6 fin si
        si action =2 alors reward=1 fin si
        si action=3 alors reward=0.5 fin si
        si action =4 alors reward=0.4 fin si
    fin si
    si TF=2
        si action =1 alors reward=0.7 fin si
        si action -2 alors reward- 1 fin si
        si action =3 alors reward=0.8 fin si
        si action=4 alors reward=0.5 fin si
    fin si
fin si
si le niveau = N3
    si TF=1
        si action =1 alors reward=0.4 fin si
        si action =2 alors reward=1 fin si
        si action =3 alors reward=0.9 fin si
        si action=4 alors reward=0.7 fin si
    fin si
    si TF=2
        si action =1 alors reward=0 fin si
        si action =2 alors reward=0.2 fin si
        si action =3 alors reward=0.85 fin si
        si action =4 alors reward=1 fin si
    fin si
fin si
si le niveau = N4
    si TF=1
        si action =1 alors reward=0.3 fin si
        si action=2 alors reward=0.6 fin si
        si action =3 alors reward=0.9 fin si
        si action=4 alors reward=0.8 fin si
    fin si
    si TF=2
        si action =1 alors reward=0 fin si
        si action =2 alors reward=0 fin si
        si action =3 alors reward=0.9 fin si

```



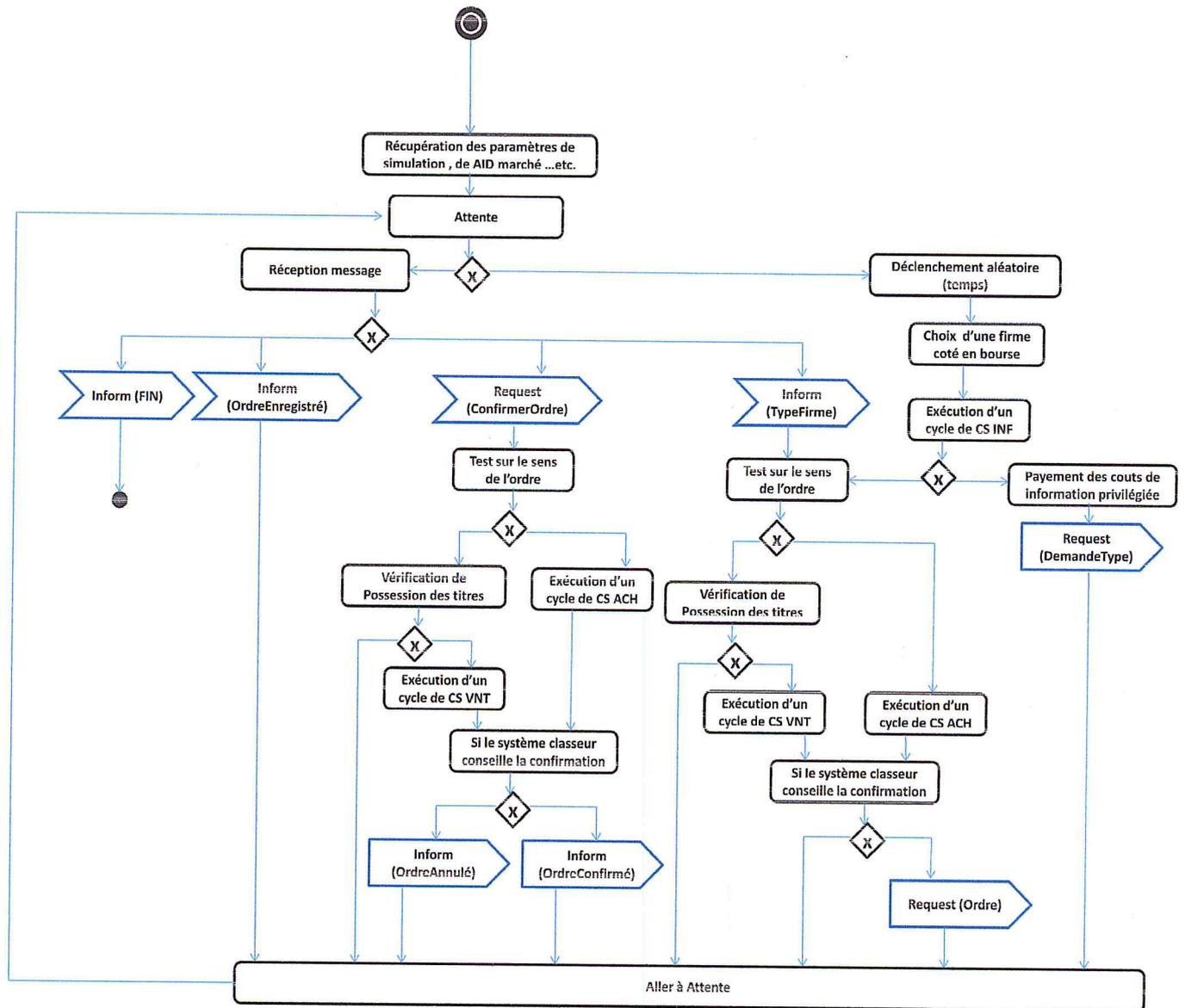


Figure 30: Diagramme d'activité de l'Agent Investisseur.

L'investisseur met en jeu à chaque cycle 50% de sa liquidité en cas d'achat et 50% des ses titres en cas de vente. Il faut marquer aussi qu'avant l'exécution d'un cycle CS INF il faut au moins posséder la somme minimal, idem pour CS ACH. Par contre pour CS VNT on doit s'assurer d'abords qu'on possède des actions et des obligations avant qu'on pense à passer à la vente. Le choix aléatoire permet à l'investisseur de diversifier sa richesse. Le principe de CyA reste le même que l'agent Firme (voir Tableau 32).

### 5.2.2. Architecture interne de l'agent investisseur

L'architecture interne de l'agent investisseur est la même que l'agent firme. L'agent investisseur est composé aussi de trois systèmes de classeur :

- ♦ *CS ACH*: qui permet à l'agent investisseur d'acheter ou de ne pas acheter des actifs financiers.
  - ♦ *CS VNT* : qui permet à l'agent investisseur de vendre ou de ne pas vendre des actions dans le marché.
  - ♦ *CS INF* : qui permet à l'agent investisseur de s'informer ou de ne pas s'informer sur le type des firmes par l'agent spéculateurs.
- ☞ Le détecteur des CS ACH et CS VNT (5<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> systèmes de classeurs) est le même, alors ils ont été regroupés en un seul appelé (Détecteur56).

L'investisseur est déclenché, il fait un cycle de CS INF, si l'investisseur choisit de ne pas s'informer et qu'il est actionnaire dans cette firme, il peut utiliser son expérience *Exp* ou encore il peut accéder à quelque information privé comme la richesse de la firme. Et si l'investisseur n'a pas de *Exp* et ne veut pas s'informer, il choisit un type au hasard et fait un cycle CS ACH ou CS VNT. L'algorithme suivant montre comment on met à jour la variable *Exp* :

Début

*Exp*=0 ;

Tant que (je possède au moins une action de cette firme)

Début

Si firme n'investit pas alors *Exp*=*Exp*-0.05; Fin si

Si firme investit et pas de revenu alors

*Exp*=*Exp*-0.1 ; Fin si

Si la réputation devient négative alors

*Exp*=*Exp* - 0.2 ;

Fin si

Fin

*Exp*=0 ;

Fin

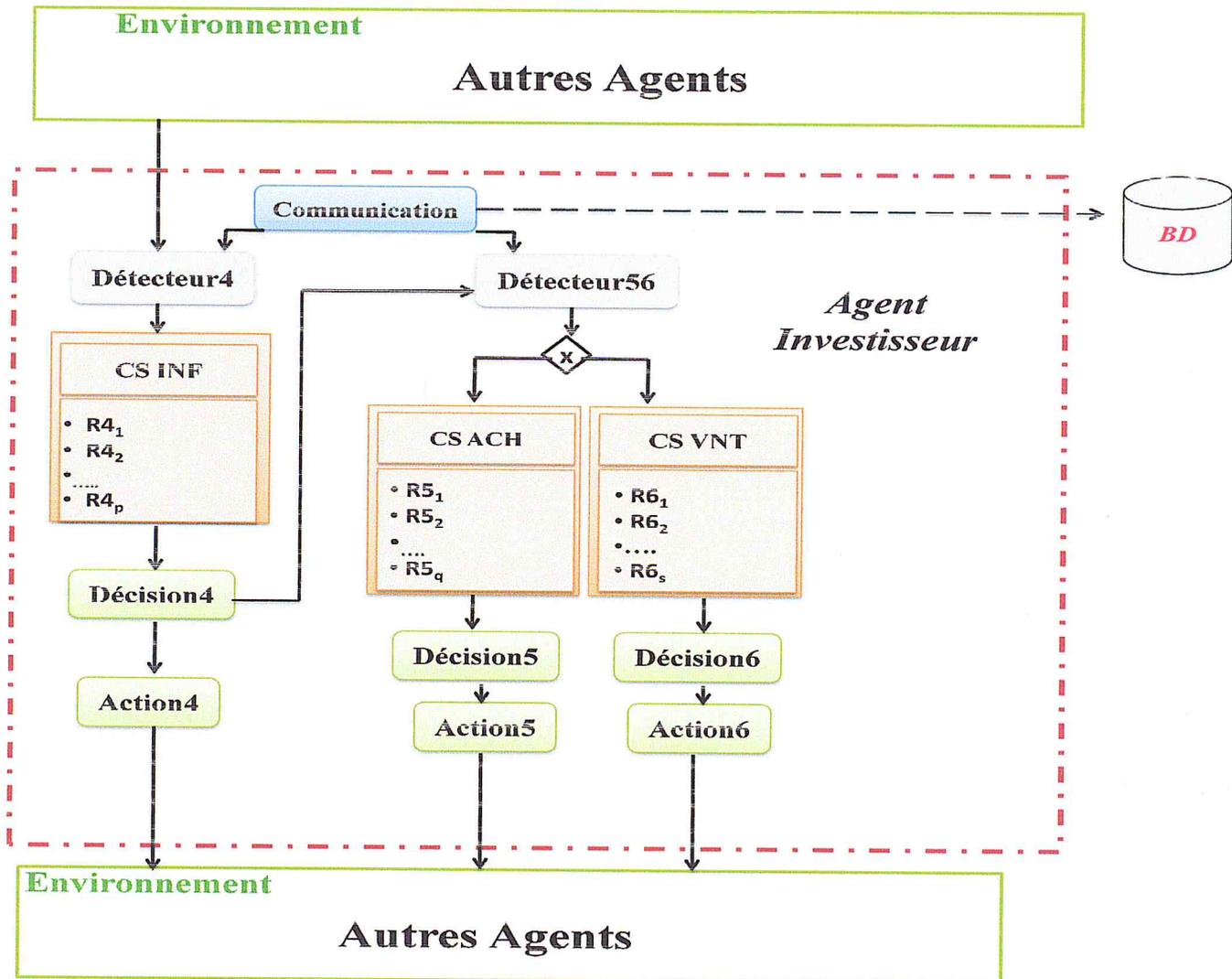


Figure 31: L'Architecture interne de l'Agent Investisseur.

### 5.2.3. Système classer de l'agent Investisseur

➤ *Le 1<sup>er</sup> système classer de l'agent investisseur : S'informer (CS INF)*

#### a. L'action

L'agent investisseur peut s'informer sur le type et la réputation des firmes. Cette action est représentée sur un seul bit.

#### b. Les conditions

Pour réaliser l'action « s'informer » il faut récupérer les conditions suivantes. La partie condition est représentée sur 1 bit.

- La suffisance de liquidité d'investisseur (SLI).

#### c. La structure du 1<sup>er</sup> système classer de l'agent investisseur

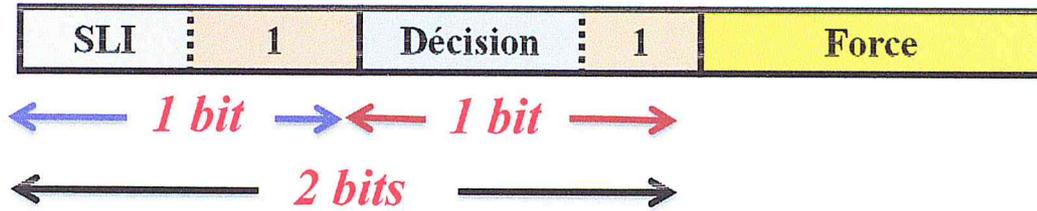


Figure 32: La structure du 1er système classeur (s'informer) de l'Agent investisseur.

#### d. La Codification

##### ❖ La partie condition

- **SLI (la suffisance liquidité de l'investisseur)**

L'agent investisseur achète des informations si sa liquidité est supérieure ou égale au coût de l'information. Elle est représentée sur un seul bit.

- Si  $LI < 2 * Cout$  alors n'acheter pas.
- Si  $LI \geq 2 * Cout$  alors acheter

Condition	Code	Valeur (poids)
$LI < 2 * Cout$	0	1
$LI \geq 2 * Cout$	1	2

Tableau 23: Codification de la suffisance la liquidité d'investisseur.

##### ❖ La partie action (Info)

L'agent investisseur peut s'informer sur le type et la réputation des firmes, et donc il peut acheter ou non des informations sur des firmes. Cette action est représentée sur un seul bit.

Action	Code	Valeur (poids)
N'acheter pas Info	0	1
Acheter Info	1	2

Tableau 24: Codification de l'action « s'informer ».

#### e. Le reward

Le reward de ce système sera calculé selon ses conditions de la manière suivante:

$$\text{Reward} = 2 - SLI$$

Équation 12: Le Reward du CS Info.

L'investisseur est bien récompensé s'il achète l'information privilégiée sur le type de la firme quand il a une suffisance de liquidité

➤ *Le 2<sup>em</sup> système classeur de l'agent investisseur : CS ACH*

*a. L'action*

L'agent investisseur peut envoyer un ordre d'achat au marché. Cette action est représentée sur un seul bit.

*b. Les conditions*

Pour réaliser cette action il faut que les conditions suivantes doivent être satisfaites. La partie condition est représentée sur 5 bits.

- Puissance de La liquidité d'investisseur (PLI).
- Le niveau de dividende annoncé par la firme (D).
- Information sur la firme (Info) : information acquise sur le type de la firme.
- Le type de la firme (TF).

*c. La structure du 2<sup>m</sup> système classeur de l'agent investisseur*

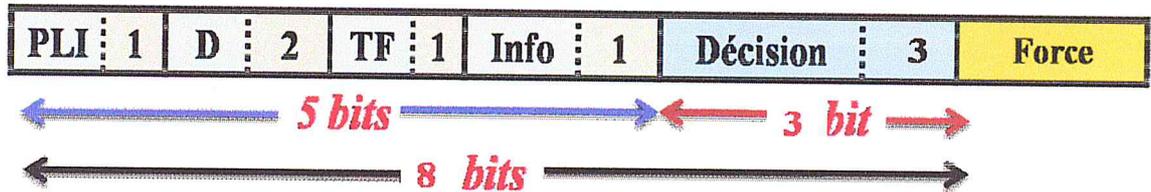


Figure 33: La structure du 2<sup>em</sup> système classeur (ordre achat) de l'Agent investisseur.

*d. La codification*

❖ **La partie condition**

• *PLI (puissance de la liquidité de l'investisseur)*

C'est la liquidité de l'investisseur qui lui permet d'acheter un certain nombre d'actions et des obligations. Elle est représentée sur un seul bit :

- Si  $LI < QttTest * \text{prix action}$  alors la liquidité est insuffisante pour acheter des actions/obligations.
- Si  $LI \geq QttTest * \text{prix} * \text{action}$  alors la liquidité est suffisante pour acheter des actions/obligations.

Condition	Code	Valeur (poids)
<i>PLI=Insuffisante</i>	0	1
<i>PLI=Suffisante</i>	1	2

Tableau 25 : Codification du la puissance de la liquidité de l'investisseur.

- *D (le niveau du dividende annoncé)*

L'annonce du niveau du dividende est un facteur important pour l'agent investisseur, car elle lui permet de bien choisir les actions des firmes. Cette condition est représentée sur 2 bits.

Condition	Code	Valeur (poids)
<i>Nul</i>	00	1
<i>Bas</i>	01	2
<i>Moyen</i>	10	3
<i>Elevé</i>	11	4

Tableau 26: Codification du niveau de dividende annoncé (D).

- *Info (investisseur Informé)*

L'agent investisseur est-il informé sur le type et la réputation des firmes par l'achat des informations privilégiées auprès l'agent spéculateur ? Cette condition est représentée sur un seul bit.

Condition	Code	Valeur (poids)
<i>Non Informé</i>	0	1
<i>Informé</i>	1	2

Tableau 27: Codification de l'Info.

- *TF (Type de la firme)*

La même codification que le système classer *CS INV*.

- ❖ *La partie action (Ach)*

L'agent investisseur soit il envoie au marché un ordre d'achat pour acheter des actifs financiers ou bien il n'envoie pas. Elle est représentée sur un sur 03 bits. On suppose que la quantité proposée est toujours égale à la moitié de la liquidité disponible.

Action	Code	Valeur (poids)
<i>Ne pas acheter</i>	000	1
<i>Acheter des obligations</i>	001	2
<i>Acheter action à cour limité à prix bas</i>	010	3
<i>Acheter action à cour limité prix moyen</i>	011	4
<i>Acheter action à cour limité prix élevé</i>	100	5

<i>Acheter action à la meilleure limite</i>	101	6
<i>Acheter action ordre marché</i>	110	7

Tableau 28: Codification de l'action « envoyer ordre d'achat ».

**e. Le reward**

Le reward de ce système est calculé selon ses conditions comme suit :

$$Reward = 1 - \left| \frac{5 * TF(Info - 1) + D + 3 * PLI}{20} - \frac{Ach}{7} \right|$$

Équation 13: Le Reward du CS ACH.

Pour ce classeur l'investisseur peut émettre des ordres d'achat en marché secondaire, bien sûr le TF est un facteur très important si on est informé, le dividende élevé attire l'investisseur, et quand il a un surplus de liquidité il est poussé à investir. Donc pour ces conditions on veut que la différence avec l'action tend vers 0, pour dire que l'investisseur a choisi l'action la plus appropriée à la situation dans laquelle il se trouve.

*Exemple* : supposant que  $[5 * TF(Info - 1) + D + 3 * PLI] / 20 = 1$ , « très bonne santé, beaucoup de motivations d'achat » donc plus Ach soit grand, plus le reward sera meilleur, (jusqu'à atteindre 1). Il faut noter que les actions sont ordonnées (de moins motivant au plus motivant). Et pareil pour tout les autres cas, plus l'ordre est ajusté, plus le reward est élevé.

➤ **Le 3<sup>em</sup> système classeur de l'agent investisseur : CS VNT**

**a. L'action**

L'agent investisseur peut envoyer un ordre de vente au marché. Cette action est représentée sur un seul bit

On suppose que la quantité vendue soit égale à la moitié de ce que possède l'investisseur.

**b. Les conditions**

Les conditions de CS VNT sont les mêmes conditions que CS ACH.

**c. La structure du 3<sup>em</sup> système classeur de l'agent investisseur**

Est la même structure que CS ACH

**d. La codification**

❖ **La partie condition**

Est la même codification que CS ACH

❖ **La partie action (Vnt)**

L'agent investisseur soit il envoi au marché un ordre de vente pour vendre ses actifs financier ou bien il n'envoi pas. Elle est représentée sur 03 bits.

Action	Code	Valeur (poids)
<i>Vendre action ordre marché</i>	000	1
<i>Vendre action a la meilleure limite</i>	001	2
<i>Vendre action à cour limité prix élevé</i>	010	3
<i>Vendre action à cour limité prix moyen</i>	011	4
<i>Vendre action à cour limité à prix bas</i>	100	5
<i>Vendre des obligations</i>	101	6
<i>Ne pas vendre</i>	110	7

Tableau 29: Codification de l'action « envoyer ordre de vente ».

**e. Le reward**

$Reward_{Inv\_Vente} = 1 - Reward_{Inv\_achats}$  par ce que la vente est conseillé lorsque l'achat est déconseillé et réciproquement, et donc :

$$Reward = 1 - \left| \frac{5 * TF(Info - 1) + D + 3PLI}{20} - \frac{Vnt}{7} \right|$$

Équation 14: Le Reward du CS VNT.

C'est le complémentaire de reward d'achat, par la simple raison, plus l'achat est conseillé, plus la vente est déconseillé. Les actions sont trié par la même **relation** que celle de CS ACH « du moins motivant au plus motivant », ces deux classeurs partagent en quelque sorte le même raisonnement, la seule différence c'est que ce système de classeurs est appelé lorsque la firme apparait mauvaise. L'exemple expliqué pour CS ACH peut être testé pour CS VNT.

**4. Exemple de calcul du cours**

Calcul du prix d'ordre a cours limité. Supposant le carnet d'ordre suivant :

Achat	Vente
28	34
20	36

Tableau 30: Carnet d'ordre.

❖ *Cas d'émission d'un ordre d'achat :*

- Prix bas =  $28 - (34-28)/2 = 25$ .
- Prix moyen =  $(28+34)/2 = 31$ .
- Prix élevé = 34 (prêt à acheter).

❖ *Cas d'émission d'un ordre de vente :*

- Prix bas = 28 (prêt à vendre).
- Prix moyen =  $(30+34)/2$ .
- Prix élevé =  $34 + (34-30)/2$ .

S'il n'y a pas d'ordres d'achat dans le carnet, le prix proposé sera :

❖ *Cas d'émission d'un ordre d'achat :*

- Prix bas =  $34 - 2 * 1 = 32$ .
- Prix moyen =  $34 - 1 = 33$ .
- Prix élevé = 34 (prêt à acheter).

❖ *Cas d'émission d'un ordre de vente :*

- Prix bas =  $34 - 2 * 1$
  - Prix moyen =  $34 - 1$ .
  - Prix élevé =  $34 + 1$ .
- S'il n'y a pas d'ordres de vente dans le carnet, le prix proposé sera :

❖ *Cas d'émission d'un ordre d'achat :*

- Prix bas =  $28 - 1$ .
- Prix moyen =  $28 + 1$ .
- Prix élevé =  $28 + 2 * 1$ .

❖ *Cas d'émission d'un ordre de vente :*

- Prix bas = 28 (prêt à vendre).
- Prix moyen =  $28+1$ .
- Prix élevé =  $28+1 * 2$ .

### 5.3. Agent spéculateur

#### 5.3.1. Diagramme d'activité de l'Agent spéculateur

Le spéculateur est résidé à la bourse, très bien informé sur l'état du marché. En réalité ses rôles sont divers et variés, mais dans notre cas il est présent pour orienter les investisseur à la bonne firme (qui maximise leurs richesses).

Il mémorise l'historique des prix, dividende ... etc. ensuite il calcule le type de la firme et le donne aux investisseurs intéressés contre un certain cout, puis il va revenir à l'observation.

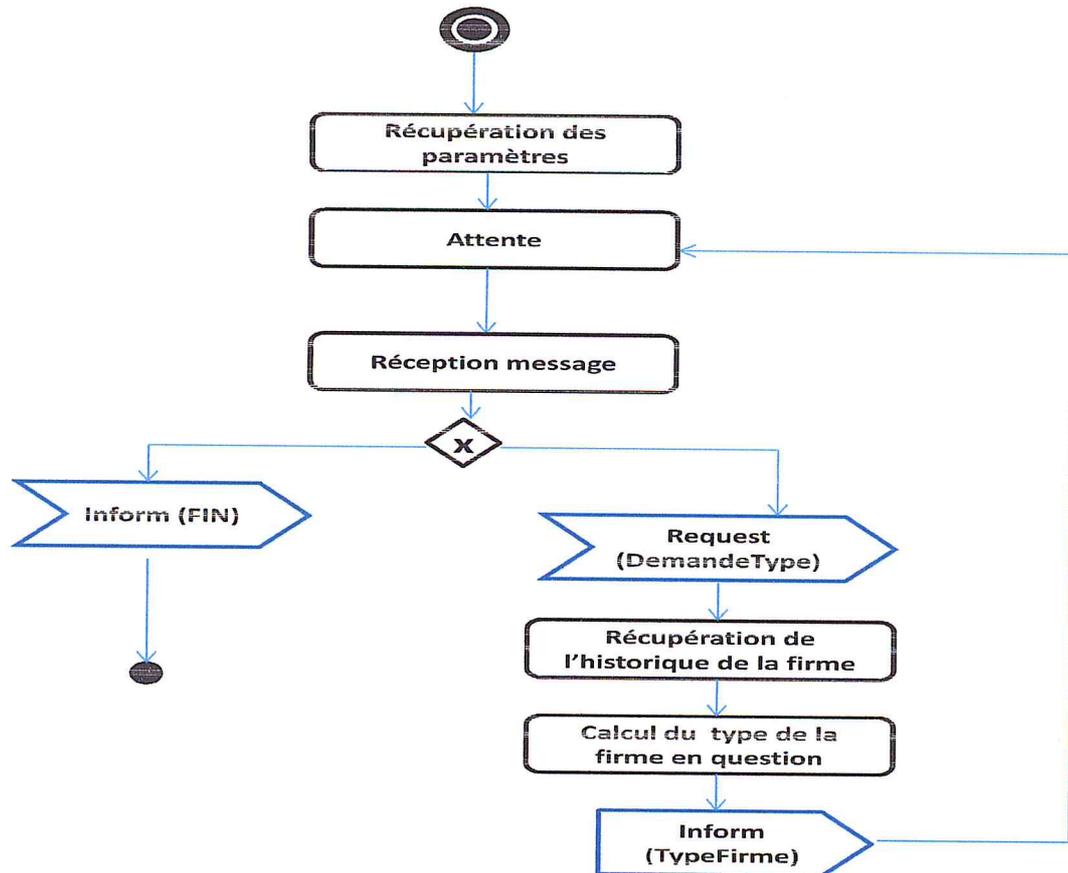


Figure 34 :Diagramme d'activité de l'Agent Spéculateur.

## 5.4. Agent marché

### 5.4.1. Diagramme d'activité de l'Agent Marché

Le marché est un composant central dans notre système, il est à l'écoute d'un ordre ou d'un événement.

Le marché est débloqué de son attente par 2 événements :

- L'arrivée d'un message (ordre, confirmation, annulation ... etc.).
- Date de Ex-dividende qui permet aux investisseurs de vendre leurs actions ont étant sur de recevoir le dividende associé.

Si le cas est la date de paiement de dividendes, le marché insère le nouvel ordre dans le carnet, effectuer le prélèvement du dividende du cours du titre ou revenir simplement à l'état d'écoute.

Remarque 1 : pour le message sortant : request(ConfirmerOrdre), en réalité c'est un double message émis aux 2 contreparties susceptible d'effectuer un échange.

Remarque 2 : pour le message entre Inform(ordreConfirmé), il faut attendre 2 messages pour effectuer la transaction. (Accord des deux contreparties)

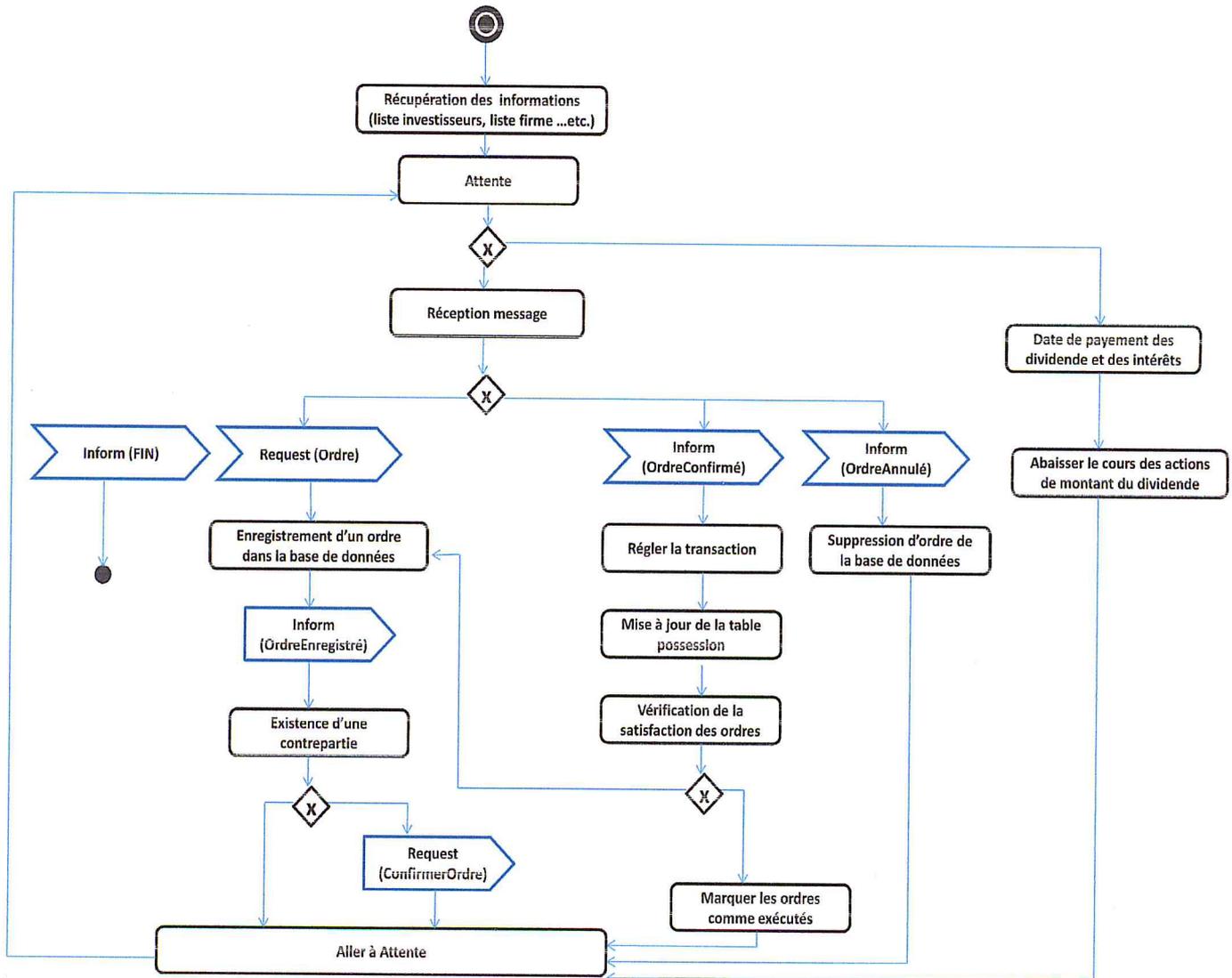


Figure 35: Diagramme d'activité de l'Agent Marché.

## 5.5. Agent Distributeur de projets

### 5.5.1. Diagramme d'activité de l'Agent Distributeur

Le Distributeur est agent secondaire dans notre système, son rôle réside à fournir des projets aux firmes et en créer des nouveaux, nous avons ajouté le concept d'expiration de projets quand les firmes ne les choisissent jamais.

L'agent est responsable aussi d'affecter une durée et un risque et une somme d'investissement à chaque nouveau projet, en suivant un certain paramétrage de l'utilisateur. Cet agent est déclenché périodiquement CyA fois.

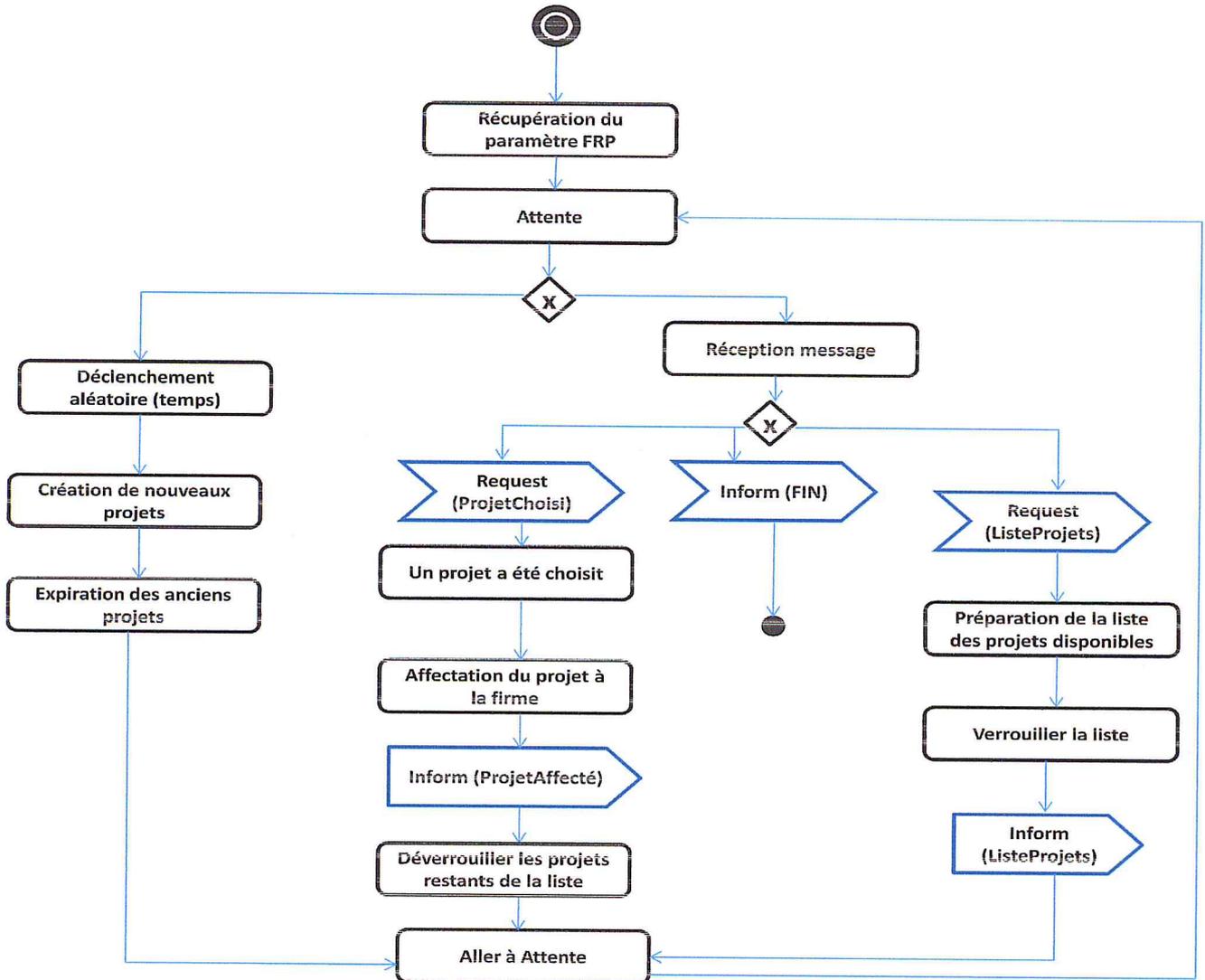


Figure 36: Diagramme d'activité de l'Agent distributeur.

## 6. Conception de la base de données

### 6.1. Diagramme de Classe

Nous présentons le diagramme de classe de notre base de données, Ce diagramme est un schéma utilisé pour présenter les classes et les interfaces de notre système ainsi que les différentes relations entre celles-ci. Ce diagramme fait partie de la partie statique d'UML car il fait abstraction des aspects temporels et dynamiques.

#### 6.1.1. L'identification des classes

L'étude conceptuelle nous a mené à tracer ce diagramme de classe :

- Les agents firmes et investisseurs sont stockés avec leurs caractéristiques dans la base de données, par contre les autres agents n'ont qu'une seule instance dans le programme.
- L'ordre peut être exécuté et archivé (satisfaction), en attente (attente d'une contrepartie) ou révoqué et supprimé (Annulé par ce lui qui les a envoyé).
- La firme investit son capital dans un ou plusieurs projets, un projet est occupé par une seule firme.
- L'investisseur investit son capital dans des firmes à en achetant des actions ou des obligations, une firme peut à son tour solliciter plusieurs investisseurs.
- Chaque projet a une durée pour le réaliser, un risque d'échec et une somme d'investissement. Un projet prend plusieurs états : libre, en exécution, exécuté, révoqué s'il est resté libre trop longtemps, verrouillé lorsqu'il est étudié par une firme.
- Certains titres peuvent être exposés/demandés dans le marché. La possession du titre tourne d'un investisseur à un autre une fois accord.
- Les actions et les obligations sont des actifs financiers.
- La firme peut émettre de nouveaux actifs (ordre vente seulement), alors que les investisseurs échangent les actifs financiers dans les deux sens.
- Les firmes annoncent annuellement un dividende, le dividende est observé durant les années pour tirer peut être quelques informations concernant cette firme.
- Les firmes et les investisseurs ont une richesse représentée tout le capital qu'ils possèdent que ce soit en liquidité ou pas, cette information est utile pour le modèle du jeu.

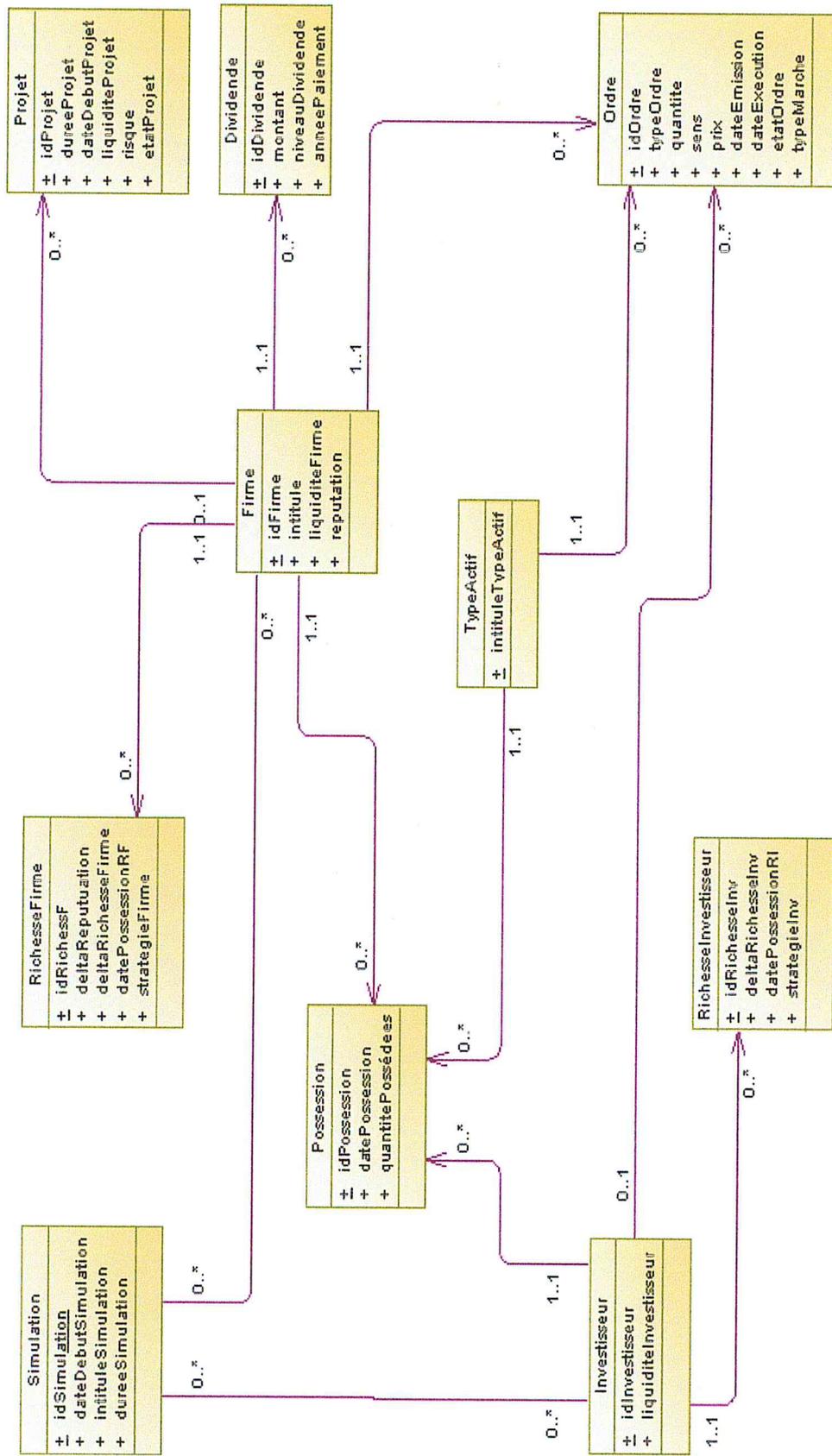


Figure 37: Diagramme de classes.

6.1.2. Description du diagramme de classe

Classe	Attribut	Description	Commentaire
<b>Investisseur</b>	<p><u>Attributs</u></p> <p>idInvestisseur liquiditeInvestisseur</p> <p><u>Méthodes</u></p> <p>créer-investisseur () modifier-investisseur ()</p>	<p>Identifiant de l'investisseur. Liquidité de l'investisseur.</p> <p>Créer une nouvelle instance d'investisseur. Modifier une instance d'investisseur.</p>	
<b>Firme</b>	<p><u>Attributs</u></p> <p>idFirme intitule liquiditéFirme reputation</p> <p><u>Méthodes</u></p> <p>créer-firme () modifier-firme ()</p>	<p>Identifiant de la firme. Intitule de la firme. La liquidité de la firme. La réputation.</p> <p>Créer une nouvelle instance de la classe firme. Modifier une instance de la classe firme.</p>	

<p><b>TypeActif</b></p>	<p><u>Attributs</u> intituleTypeActif</p> <p><u>Méthodes</u> créerIntituleTypeActif ()</p>	<p>Intitule du type des actifs financier.</p> <p>Création d'un nouveau type d'actif financier</p>	<p>intituleTypeActif, ∈ {Actions, obligations}</p>
<p><b>Projet</b></p>	<p><u>Attributs</u> idProjet dureeProjet dateDebutProjet liquiditeProjet risque etatProjet</p> <p><u>Méthodes</u> créerProjet () modifierProjet() supprimerProjet()</p>	<p>Identifiant du projet. La durée du projet. Date début du projet. La liquidité du projet. Le risque de projet. Etat du projet</p> <p>Créer une nouvelle instance de la classe projet. Modification d'un nouveau projet Suppression d'un nouveau projet</p>	<p>etatProjet ∈ {verrouillé, libre, en exécution, exécuté, révoqué}</p> <p>Des projets peuvent restés écarté par les firmes doivent être retiré ils doivent être retiré.</p>

<i><b>Dividende</b></i>	<p><u>Attributs</u></p> <p>idDividende anneePaiement montant niveau</p> <p><u>Méthodes</u></p> <p>créerDividende ()</p>	<p>Identif.ant de dividende. Année virtuelle de paiement de dividendes. Le montant de dividende. Le niveau du dividende Créer une instance de la classe dividende.</p>	<p>niveauDividende ∈ {nul, bas, moyen, élevé}</p>
<i><b>Ordre</b></i>	<p><u>Attributs</u></p> <p>idOrdre typeOrdre quantite sens dateEmission dateExecution. prix etatOrdre typeMarche</p> <p><u>Méthodes</u></p>	<p>Identif.ant de l'ordre. Le type d'ordre. La quantité. Le sens d'ordre. Date virtuelle d'émission de l'ordre. Date virtuelle d'exécution de l'ordre. Le prix. Etat de l'ordre. Indique dans quel marché cet ordre à été envoyé</p>	<p>TypeOrdre ∈ {Au marché, à cours limité, à la meilleure limite} Sens ∈ {Achat, Vente} etatOrdre ∈ {en attente, exécuté, annulé} typeMarche ∈ {pr.maire, secondaire}</p>

	<p>créerOrdre () modifierOrdre ()</p>	<p>Créer une nouvelle instance de la classe ordre. Modifier une instance de la classe ordre.</p>	
<b>Possession</b>	<p><u>Attributs</u> idPossession datePossession quantitePossesées</p> <p><u>Méthodes</u> créerPossession()</p>	<p>Identifiant La date virtuelle de possession. La quantité échangée. Créer une instance de possession</p>	
<b>Simulation</b>	<p><u>Attributs</u> idSimulation dateDebutSimulation intituleSimulation dureeSimulation</p> <p><u>Méthodes</u> créerSimulation () modifierSimulation ()</p>	<p>Identifiant de la simulation. La date virtuelle de début de la simulation. L'intitulé de la simulation. Durée en années (virtuelles) de cette simulation. Créer une nouvelle instance de la simulation. Modifier une instance de la simulation.</p>	

<p><b><i>Richesse Investisseur</i></b></p>	<p><u>Attributs</u>  idRichesseInv  deltaRichesseInv  datepossessionRI  StratégieInv  <u>Méthodes</u>  créerRichesseInv()</p>	<p>Identifiant  Evolution de la richesse de l'investisseur.  Date virtuelle à laquelle l'investisseur a eu cette richesse  Stratégie qui a mené à cette richesse  Nouvelle instance de Richesse investisseur</p>	<p>L'investisseur peut faire plusieurs stratégies dans une seule année (dépend de CyA), dans ce cas, on va enregistrer chaque stratégie avec la richesse courante, et c'est expliqué par le fait que la richesse courante n'est plus que la conséquence des choix (stratégies) que cet investisseur a choisis.  strategieInv ∈ {1..28}</p>
<p><b><i>Richesse Firme</i></b></p>	<p><u>Attributs</u>  idRichesseFirme  deltaReputation  deltaRichesseFirme  datepossessionRI  StratégieFirme  <u>Méthodes</u>  créerRichesseFirme()</p>	<p>Identifiant  Evolution de la réputation de la firme.  Evolution de la richesse de la firme.  Date virtuelle à laquelle la firme a eu cette richesse.  Stratégie qui a mené à cette richesse.  Nouvelle instance de Richesse firme.</p>	<p>La même remarque que richesse investisseur  strategieFirme ∈ {1..32}</p>

Tableau 31: Description du diagramme de classes.

## 6.2. Les Variables

Dans ce tableau nous allons mettre toutes les variables utilisées dans notre système, que ce soit des paramètres donnés par l'utilisateur ou bien des valeurs calculé par le système lui-même ou encore des variables de condition utilisées dans les systèmes classeurs

Variable	Description	Formule ou commentaire
<b>Rep(k)</b>	La réputation de la firme dont id=k	La réputation augmente à chaque fois que la firme réalise des bénéfices
<b>MaxR</b>	La réputation maximale atteinte dans le système	
<b>D<sub>k</sub>(t)</b>	Dividende payé à l'année t par la firme dont id=k	
<b>TX</b>	Taux d'intérêt de la dette	Paramètre
<b>Risque(k)</b>	Le risque attribué au projet k	A l'affectation, $Risque(k) = FRP$ $0 < Risque < 2$ . La variable 'Risque' peut être vue comme l'opposé de NPV vu au chapitre 4, c'est-à-dire quand le risque est 1, c'est équivalent à NPV=0 (pas de perte et pas de gain) cependant plus NPV est grand plus le projet est rentable, à l'inverse de <i>Risque</i> .
<b>FRP</b>	Facteur des risques de projets. Paramètre	Plus le FRP est bas, Le distributeur de projet à tendance de mettre
<b>SE</b>	Situation économique	<b>Risque(k)</b> pour les nouveaux projets au voisinage de FRP Dépend de FRP
<b>RichFirme(k)</b>	Richesse de la firme dont id=k	$RichFirme(k) = LF(k) + S(k)$
<b>LF(k)</b>	Liquidité de la firme dont id=k	

<b>SI(k)</b>	Somme investit par la firme dont id=k	
<b>RichInvestisseur r(k)</b>	Richesse de l'investisseur dont id=k	$RichInvestisseur(k) = LI(k) + nbrO(k, k_2) + nbrA(k, k_2), \forall k_2.$
<b>LI(k)</b>	Liquidité de l'investisseur dont id=k	
<b>nbrO(k, k<sub>2</sub>)</b>	Nombre d'obligations émit par la firme dont id=k <sub>2</sub> et possédé par l'investisseur dont id=k	
<b>nbrA(k, k<sub>2</sub>)</b>	Nombre d'actions émit par la firme dont id=k <sub>2</sub> et possédé par l'investisseur dont id=k	
<b>I</b>	Nombre d'investisseurs	Calculé à partir du paramètre liste Investisseurs participants
<b>F</b>	Nombre de firmes	Calculé à partir du paramètre liste Firmes participants
<b>P</b>	Nombre de projets disponibles	Paramètre
<b>DI</b>	Disponibilité des investisseurs	$DI = \frac{I}{F}$
<b>TF(k)</b>	Type de firme dont id=k	Classé en 4 valeurs en se basant sur une probabilité
<b>Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub></b>	Nombres utilisés pour délimiter le DI	Paramètres
<b>LP(k)</b>	Liquidité investit dans le projet k	
<b>Duree(k)</b>	Indiquant si les projets encours affectés à la firme dont id=k seront bientôt achevé ou non	
<b>DP(k)</b>	Durée de réalisation du projet dont id=k.	
<b>DateDebutP(k)</b>	Date de debut du projet dont id=k	

<b>NR(k)</b>	Le niveau du risque d'un projet	Calculé à partir de la variable Risque
<b>CS DIV</b>	Système classeur utilisé par l'investisseur dont la décision concerne l'annonce du dividende	
<b>CS FNC</b>	Système classeur utilisé par la firme dont la décision concerne le moyen de financement	
<b>CS INV</b>	Système classeur utilisé par la firme dont la décision concerne l'investissement	
<b>CS INF</b>	Système classeur utilisé par l'investisseur dont la décision concerne l'information privilégiée	
<b>CS VNT</b>	Système classeur utilisé par l'investisseur dont la décision concerne la vente	
<b>CS ACH</b>	Système classeur utilisé par l'investisseur dont la décision concerne l'achat	
<b>ProbTypeFirm</b> <b>e(k)</b>	Probabilité calculée sur le type de firme exprimé en pourcentage.	<p>Si Exp existe :</p> $2 * Exp + \frac{1}{2} \left( \frac{R}{MaxR} + \frac{\sum_{t=1}^N t * D_k(t)}{MaxD * \sum_{t=1}^n t} - \frac{Dbas(k)}{MaxD} \right)$ <p>Si Exp n'existe pas</p> $= \frac{1}{2} \left( \frac{R}{MaxR} + \frac{\sum_{t=1}^N t * D_k(t)}{MaxD * \sum_{t=1}^n t} - \frac{Dbas(k)}{MaxD} \right)$

<b>CyA(k)</b>	Nombre de Cycles d'Activités à déclencher dans l'année k.	Calculé à partir de FRP. Où $CyA(k) = \text{Entier} [ ((2 - \text{risques}) - 1) * 10 ]$
<b>N</b>	L'année courante	La simulation se déroule plusieurs années.
<b>SimDuree(k)</b>	Durée de la simulation dont id=k	
<b>Reward</b>	Donnée numérique entre [0,1] représente la récompense de l'agent	
<b>FA(k)</b>	Firme(k) est Active ou pas.	Vrai si la firme a au moins un projet en marche à ce moment
<b>MRP(k)</b>	Le risque moyen des projets encours affectés à la firme k	$MPR(k) = \frac{\sum \text{Risque}(i)}{NbrPA}$ Où j est le id d'un projet actif occupé par la firme k
<b>MoyD(k)</b>	La moyenne des dividendes déjà payés par toutes les firmes sauf la firme (k)	$MoyD(k) = \frac{\sum_{j=1}^F \sum_{i=1}^n i * D_i(i)}{\sum_{i=1}^n i}$
<b>NbrPA(k)</b>	Nombre de projets encours affecté à la firme dont id=k.	Avec $j \neq k$
<b>Cours(k)</b>	Cours de l'action du titre k (appartient à la firme dont id=k)	
<b>Obligation</b>	Montant obligation	Paramètre
<b>EchelTemps</b>	L'échelle du temps dans le système.	Paramètre
<b>X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub></b>	Nombres utilisé pour délimiter le montant du dividende	Paramètre
<b>DNul(k)</b>	Retourne le montant à payer d'un dividende nul par la firme k	
<b>DBas(k)</b>	Retourne le montant à payer d'un dividende bas par la firme k	

<b>DMoy(k)</b>	Retourne le montant à payer d'un dividende moyen par firme k	
<b>DElv(k)</b>	Retourne le montant à payer d'un dividende élevé par la firme k	
<b>Cout</b>	Somme à payer par les investisseurs au spéculateur pour devenir informé	Paramètre. Cout d'obtention d'une information privilégiée sur TF.
<b>SLI (k)</b>	Suffisance de liquidité pour l'investisseur (k)	Indique si l'investisseur est prêt à devenir informé
<b>Info(k,j)</b>	Investisseur k est informé sur la firme dont id=j ou pas	
<b>PLI</b>	Puissance liquidité Investisseur	Pouvoir d'achat de l'investisseur
<b>QttTest</b>	Nombre utilisé pour déterminer le PLL,	Paramètre. Sert à tester si l'investisseur peut acheter une certaine quantité d'actions.
<b>MDRPA(k)</b>	Moyenne des restants des durées des projets actifs occupés par la firme k	$MDRPA = \frac{\sum_{n \geq 0} n \cdot p^n - DateDebutP(k)}{NbrPA}$
<b>MDPA(k)</b>	Moyenne des durées des projets actifs occupés par la firme dont id=k.	$MDPA = \frac{\sum DP(k)}{NbrPA}$
<b>NPV</b>	Net present value	Valeur investissement proportionnel au Risque
<b>Exp(k1,k2)</b>	Expérience de l'investisseur k1 dans la firme k2	Change de valeur par un algorithme propre à l'agent investisseur et existe tant que l'investisseur k1 possède au moins une action de la firme k2.
<b>TVP</b>	Taux volume de projet	Paramètre. Durée et somme nécessaire aux nouveaux projets
<b>MaxD</b>	Le niveau du dividende maximal déjà signalé	

Tableau 32: Les Variables du système.

## 7. Analyse des résultats

Après chaque décision, le joueur enregistre l'augmentation (diminution) de sa richesse dans la base de données après chaque cycle d'activité CyA (donc après chaque appel à un CS), l'utilisateur est capable de voir quelles sont les décisions de chaque joueur et quand il les a pris et que ce qu'il a gagné après (voir diagramme de classe, les tables richesse investisseur et richesse firme).

Face à un tel jeu où il est à la fois pas synchronisé (les firmes émettent des titres quand elles veulent) et synchronisé (le dividende est payé toujours à une même date), Pour stocker ces informations, on suit la méthode suivante :

Supposant que firme1 a adopté une stratégie 18 (Inv=2, Fnc=3, Div=1) et les autres joueurs ont fait leurs choix. Au prochain cycle d'activité CyA, firme1 a appelé le CS INV et a décidé Inv=1 par exemple, dans ce cas notre firme calcule la richesse réalisée, et elle affecte à la stratégie 18 la différence avec la richesse initiale, et insère la nouvelle stratégie 17 (Inv=1, Fnc=3, Div=1). Ce processus est le même pour les investisseurs avec changement évidemment au niveau des décisions. Et il sera répété jusqu'à la fin de simulation.

**Firme** : la firme a pour objectif :

- réussir ses investissements pour protéger sa réputation.
- augmenter sa richesse. (liquidité + somme investit)

$$Uf_k (\Delta Rep, \Delta RichFirme)$$

Équation 15: Calcul de l'accroissement de firme réalisé en réputation et en capital.

L'utilité de la firme revient à calculer l'accroissement réalisé en réputation et en capital.

**Investisseur** : a pour objectif :

- maximiser sa richesse (liquidité + nombre d'action de son titre \* cours d'action + nombre de d'obligation\*cours obligation)

$$UI_k (\Delta RichInvestisseur)$$

Équation 16: Calcul de l'accroissement d'investisseur réalisé en sa richesse.

Avec  $\Delta Rep$  est la différence entre la réputation courante et la dernière réputation mémorisé, pareil pour  $\Delta RichFirme$  et  $\Delta RichInvestisseur$ . Voir Tableau 32.

L'utilité de l'investisseur revient à calculer l'accroissement réalisé en sa richesse.

Cependant, comme nous l'avons expliqué dans le chapitre 4, le gain d'un joueur ne dépend pas uniquement de son choix mais aussi de celui des autres joueurs.

C'est pour cette raison que nous allons laisser l'utilisateur analyser le comportement de la firme par moyen d'objets graphique, ou aussi voir l'évolution de la richesse. Sous forme de tableau.

Après chaque itération (un semestre, une année en réalité), on met à jour la table du jeu en calculant les gains marqués dans cette itération et ce qui va permettre à l'utilisateur d'analyser et de comparer entre les différentes stratégies, (par exemple quand la firme 1 adopte une stratégie 5, son gain sera égal à X si la firme 2 adopte la stratégie 5 aussi et que l'investisseur 1 choisisse la stratégie 2... etc.).

*Remarque* : la valeur initiale au début de la simulation est 0. Et si une même combinaison se reproduit (chaque joueur a pris déjà la même décision on fait une modification au lieu d'une insertion).

## **8. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons détecté, analysé et modélisé les différentes entités de notre système que nous avons choisi parmi les travaux de recherche vu dans l'état de l'art.

Ensuite nous avons entamé notre conception globale, en expliquant les cas d'utilisation et les interactions entre les différents agents.

Ainsi, nous avons abouti à une conception détaillée de notre système : l'architecture interne des agents de notre système, en suivant une démarche (voyelle) et en utilisant AUML et UML comme langage de modélisation.

Nous avons conçu notre base de données qui permet de stocker les différentes informations utilisées dans avant, pendant et après les simulations.

Dans le chapitre suivant nous montrons comment nous avons pu réaliser notre système.



**La Partie III : Réalisation**

## **1. Introduction**

Après avoir fait un tour d'horizon sur les ingrédients nécessaires à la conception d'un marché financier artificiel, et après avoir conçu un modèle qui tente de répondre aux objectifs que nous nous sommes fixés, nous présentons dans cette partie l'implémentation de notre prototype.

Pour se faire, nous présentons les technologies utilisées : le langage de programmation, le SGBD et la plateforme multi-agent. Nous les avons choisis grâce à leurs caractéristiques que nous jugeons pour répondre à nos besoins.

Nous voyons ensuite comment l'utilisateur pourra effectuer des simulations, les paramétrer et récupérer leurs résultats.

## **2. Environnement du développement**

### **2.1. La plateforme multi-agents**

Jade (Annexe B) est une plateforme de développement d'agents Open Source développée par CSELT<sup>1</sup> et qui résulte principalement d'une activité de recherche. Ses principales caractéristiques sont :

- JADE n'est couplée à aucune méthodologie de développement.
- Les agents développés sous la plateforme JADE, sont entièrement écrits en Java. Le choix de la plateforme s'est donc imposé comme étant une conséquence de notre choix en termes de langage de programmation Java.
- JADE simplifie l'implémentation d'un SMA à travers un MiddleWare<sup>2</sup> répondant aux spécifications de la FIPA, une librairie de classes que les utilisateurs peuvent utiliser et étendre ainsi qu'un ensemble d'outils graphiques qui permettent le débogage et l'administration du SMA.
- JADE assure une communication transparente par échange de messages dans le langage normalisé FIPA-ACL.
- JADE diminue l'effort de programmation car elle implémente des agents (le DF « Directory Facilitator », le AMS « Agent Management System » et le Sniffer) dont les fonctionnalités sont utiles à notre application. Ces agents représentent respectivement les services de pages jaunes, de pages blanches et du service d'écoute.
- JADE gère le cycle de vie des agents de leurs naissances jusqu'à leurs morts (création, mort, reprise, ...).

## 2.2. Le langage de programmation

Afin de réaliser notre SMA et ses interfaces, nous avons choisi le langage JAVA, ce choix se justifie par :

- Les agents développés sous JADE sont entièrement écrits en JAVA. Ce langage s'est donc imposé comme étant une conséquence du choix précédent.
- JAVA est un langage multiplateformes qui permet aux concepteurs, selon le principe:« write once, run every where », d'écrire un code capable de fonctionner dans tous les environnements (quelque soit le système d'exploitation).
- JAVA est un langage orienté objets, simple qui réduit le risque d'erreurs et d'incohérence.
- JAVA est doté d'une riche bibliothèque de classe comprenant la gestion des interfaces graphiques (fenêtre, boîte de dialogue).
- Un accès simplifié aux bases de données, soit à travers la passerelle JDBC-ODBC ou à travers un pilote JDBC spécifique au SGBD.

Pour ce qui est de l'environnement de développement Java, notre choix s'est porté sur Oracle *JDeveloper 11g*, qui est un Environnement de Développement Intégré (EDI).

## 2.3. Le SGBD

Notre système possède une base de données qui contient les données que manipule le marché financier telles que : la liste des investisseurs, la liste des titres, les ordres envoyés par les investisseurs, les transactions effectuées, les portes feuilles de chaque investisseurs etc.

Vu la quantité énorme et l'importance des données stockées dans cette base de données, nous avons opté pour le leader mondial de base de données ORACLE pour sa robustesse et sa sécurité, nous utilisons la version 9i release 2.

## 2.4. Le module d'apprentissage

Nos agents investisseurs et firmes comprennent tous un module d'apprentissage et de raisonnement basé sur les systèmes de classeurs qui leur permet de prendre des décisions et d'apprendre à les améliorer à force de leurs expériences (apprentissage par renforcement). Un tel module est souvent très complexe à implémenter c'est pour cela que notre choix s'est porté sur le package ART (pour Artificial Reasoning Toolkit) qui est une bibliothèque de classes Java consacrée à la manipulation des Algorithmes Génétiques (AG) et des Systèmes de Classifieurs (CS).

ART a été créée afin d'être employé dans les modèles de simulation à base d'agents, il facilite l'obtention d'agents intelligents entièrement autonomes, capables de gérer leurs propres comportements et de les adapter dans les différentes situations environnementales. Il permet de paramétrer les systèmes de classifieurs grâce à la classe CsManager qui sera la classe principale qui va nous permettre d'utiliser toutes les opérations de base pour un usage standard d'un système de classifieurs (Annexe A).

### 3. Les interfaces Home Machine

Le fonctionnement interne d'un marché artificiel et l'ensemble des interactions entre les agents ne seront pas visibles à l'utilisateur, toute fois nous allons présenter les interfaces qui permettront à l'utilisateur d'interagir avec le système.

#### 3.1. Accueil



Figure 38: Interface d'Accueil.

1 : permet à l'utilisateur de créer une nouvelle simulation.

2 : permet à l'utilisateur de voir les resultats d'une ancienne simulation prealablement sauvegardée.

Ensuite après l choix d'une simulation, l'interface simulation sera affiché, exactement comme si c'était une nouvelle simulation à l'exception qu'aucun agent n'est utilisé, on affiche au moyen du même moule des données extraites de la base de données.

### 3.2. Paramètre Simulation

C'est dans cette fenêtre l'utilisateur doit choisir les participants à cette nouvelle simulation du marché artificiel (Investisseurs et Firmes), cette fenêtre lui permet de modifier les paramètres des intervenants du marché avant la création de la simulation, comme il peut aussi ajouter des nouvelles firmes et des nouveaux investisseurs pour participer à la simulation.

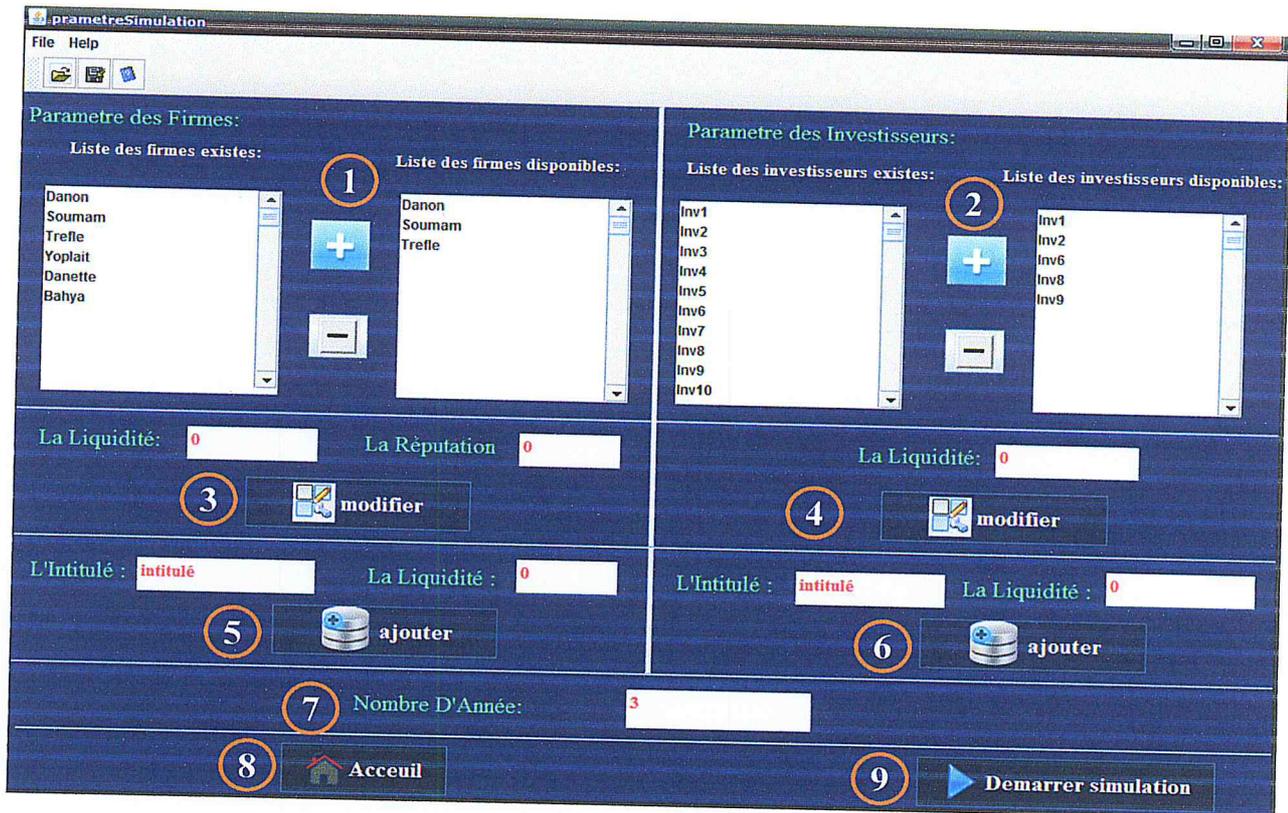


Figure 39: Interface de paramètre de simulation.

1 : permet à l'utilisateur de choisir les firmes qui participent à une simulation.

2 : permet à l'utilisateur de choisir les investisseurs qui participent à une simulation.

3 : permet à l'utilisateur de modifier les paramètres (Liquidité et reputation) d'une firme .

4 : permet à l'utilisateur de modifier le paramètre (Liquidité) d'un investisseur.

5 : permet à l'utilisateur d'ajouter une nouvelle firme dans la base de donnée.

6 : permet à l'utilisateur d'ajouter un nouveau investisseur dans la base de donnée.

7 : permet à l'utilisateur de saisir la durée (virtuelle) d'une simulation.

8 : permet à l'utilisateur d'aller à la fenetre principale.

9 : permet à l'utilisateur de voir le carnet d'ordre et les resultats de simulation (affichage des graphes) ainssi que la table des gains des investisseurs et des firmes.

### 3.3. Simulation

The screenshot displays the 'Simulation' software interface. At the top, there are menu options 'File' and 'Help'. Below the menu is a navigation bar with tabs: 'Carnet d'Ordre', 'Evolution du Prix', 'Evolution du Dividende', and 'Table du jeu'. The main area is divided into three panels: 'Achat:', 'Vente:', and 'Derniere Transaction:'. Each panel contains a table with columns for 'Quantité', 'Cours', and 'Acheteur' or 'Vendeur'. The 'Achat:' table has 5 rows, 'Vente:' has 5 rows, and 'Derniere Transaction:' has 6 rows. To the right of these panels is a control panel titled 'Afficher par Firme:' with a dropdown menu showing 'Danon', 'All', 'Danon', 'soumam', and 'Trefle'. Below the dropdown are buttons for 'Pause/Play', 'Save', 'Stop', 'Accueil', and 'Terminer'. At the bottom of the interface is a 'Parametres de la simulation' section with various input fields and sliders. A circled '7' is placed over the 'Parametres de la simulation' title.

Achat:		
Quantité	Cours	Acheteur
40	61.05	Inv3
10	61.00	Inv5
30	60.95	Inv2
10	60.90	Inv1
20	60.85	Inv9

Vente:		
Quantité	Cours	Vendeur
10	61.10	Danon
30	61.15	Inv5
30	61.20	Danon
20	61.25	Inv8
40	61.30	Inv7

Derniere Transaction:				
Acheteur	Vendeur	Quantité	Cours	Heur
Inv1	Inv5	50	61.10	11h10
Inv2	Danon	150	61.05	11h10
Inv9	Inv8	30	60.95	11h09
Inv5	Inv7	10	61.00	11h08
Inv3	Danon	30	60.95	11h08

Parametres de la simulation

Nombre Projets (P): 20  
Taux de Volume des Projets (TVP): 100  
Facteur Risque Projet (FRP): 0.6  
Echel du Temps: 20

Moyenne pouvoir d'achat pour investisseur (QtTest): 50  
Cout d'Information: 200  
Le Montant d'Obligation: 10  
Le taux d'interet de la dette (TX): 1 %

Disponibilité des investisseurs (DI):  
- Y1: 0.5  
- Y2: 2

Le Niveau Dividende:  
- X1: 0.01  
- X2: 0.02  
- X3: 0.05

Figure 40: Interface Simulation « carnet d'ordre ».

Cette fenêtr permet à l'utilisateur de suivre une simulation qui a été déjà créée:

1 : permet à l'utilisateur de choisir le mode d'affichage, soit il affiche l'évolution de toutes les firmes participantes à la simulation, ou bien il choisi une seule.

2 : Permet à l'utilisateur de figer puis de reprendre la simulation à tout moment. La sauvegarde et le control des paramètres sont interdits lorsque la simulation tourne, il faut la suspendre grâce à ce bouton.

3 : Permet à l'utilisateur de sauvegarder le résultat de la simulation à tout moment à condition que la simulation soit figée.

4 : Permet à l'utilisateur d'arrêter la simulation, une fois la simulation arrêtée (la mort de tous les agents).

5 : ce bouton va apparaître une fois que l'utilisateur arrête la simulation définitivement, il lui permet de retourner à la page principale de l'application.

6 : idem pour ce bouton il va apparaître une fois que l'utilisateur arrête la simulation définitivement, il lui permet de quitter l'application.

7 : permet à l'utilisateur d'administrer les paramètres d'une simulation pour voir les changements qui touche le carnet d'ordre et qui influe sur l'évaluation du prix et du dividende, le rôle de chaque paramètre est expliqué dans le Tableau 32.

#### a. Le carnet d'ordre

Cet onglet affiche à l'utilisateur les informations du marché simulé et cela à travers :

- Le carnet d'ordre de chaque titre. (comme c'est le cas dans EURONEXT).
- Le suivi des transactions effectuées pour chaque titre.

#### b. Evolution du Prix



Figure 41: Interface Simulation « Evolution du prix ».

Dans cette fenêtre s'affichent les résultats de la simulation concernant les titres et cela à travers la variance du prix de chaque titre ayant participé à la simulation.

L'utilisateur peut choisir de modifier les paramètres de la simulation pour manipuler les données, et pour bien analyser les résultats obtenus et pour qu'il puisse arriver à une interprétation.

- **Analyse de la simulation :**

Ce graphe représente l'évolution du prix des titres de la firme « Danon ». Nous remarquons que les prix des titres de cette firme sont en augmentation dans les premiers 3 ans. Après une année plus tard, nous voyons que les prix des titres de la firme « Danon » sont instables pendant 3 ans après elle a repris l'augmentation de leur prix de façons très importante.

- **Le résultat de l'analyse :**

- Cette firme à arriver de reprendre l'augmentation de leur prix :
  - ✓ Il est possible qu'elle a bien investit dans des projets,
  - ✓ Il est possible qu'il y a une crise qui a influé positivement sur elle.
  - ✓ Il est possible que la firme ait une bonne réputation qui a influe positivement sur leur prix.

Pour aider l'analyste a trouvé une réponse, on va lui donner un facteur qui peut être une des causes de ces fluctuations : *le dividende*.

### c. Evolution du dividende

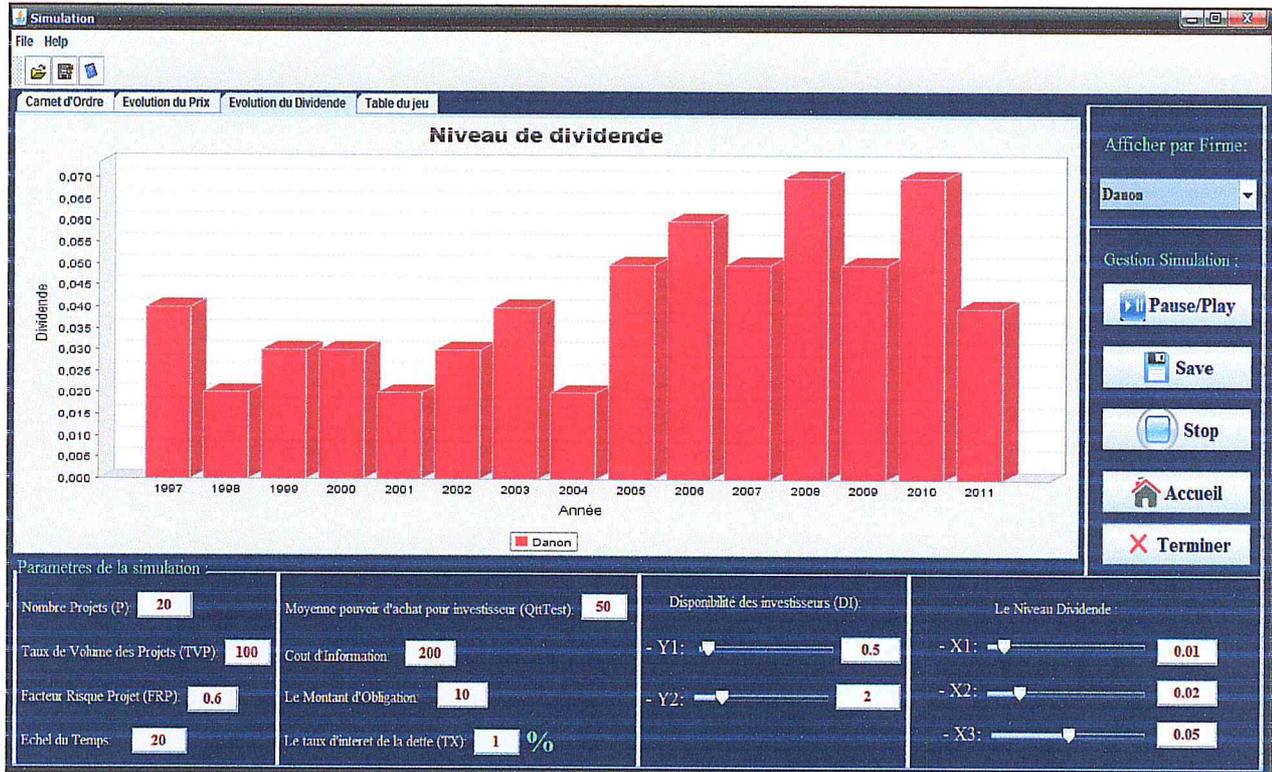


Figure 42: Interface Simulation « Evolution du dividende ».

- **Analyse de la simulation**

Ce graphe représente l'évolution du dividende de la firme « Danon », nous remarquons que cette firme annonce des dividendes niveau moyen à bas grâce au chut de leur prix dans cette période après l'augmentation de leur prix, la firme annonce des dividendes de niveau élevé pour qu'elle puisse créer sa richesse et assure sa rentabilité et donc elle se pérennise.

- **Résultat de la simulation**

- L'augmentation du prix de cette firme influe positivement sur elle, il lui permet de lancer des dividendes élevés, ce qui augmente leur réputation et donc sa liquidité, et qui assure l'existence de la firme au marché.

#### d. Historique de la table du jeu

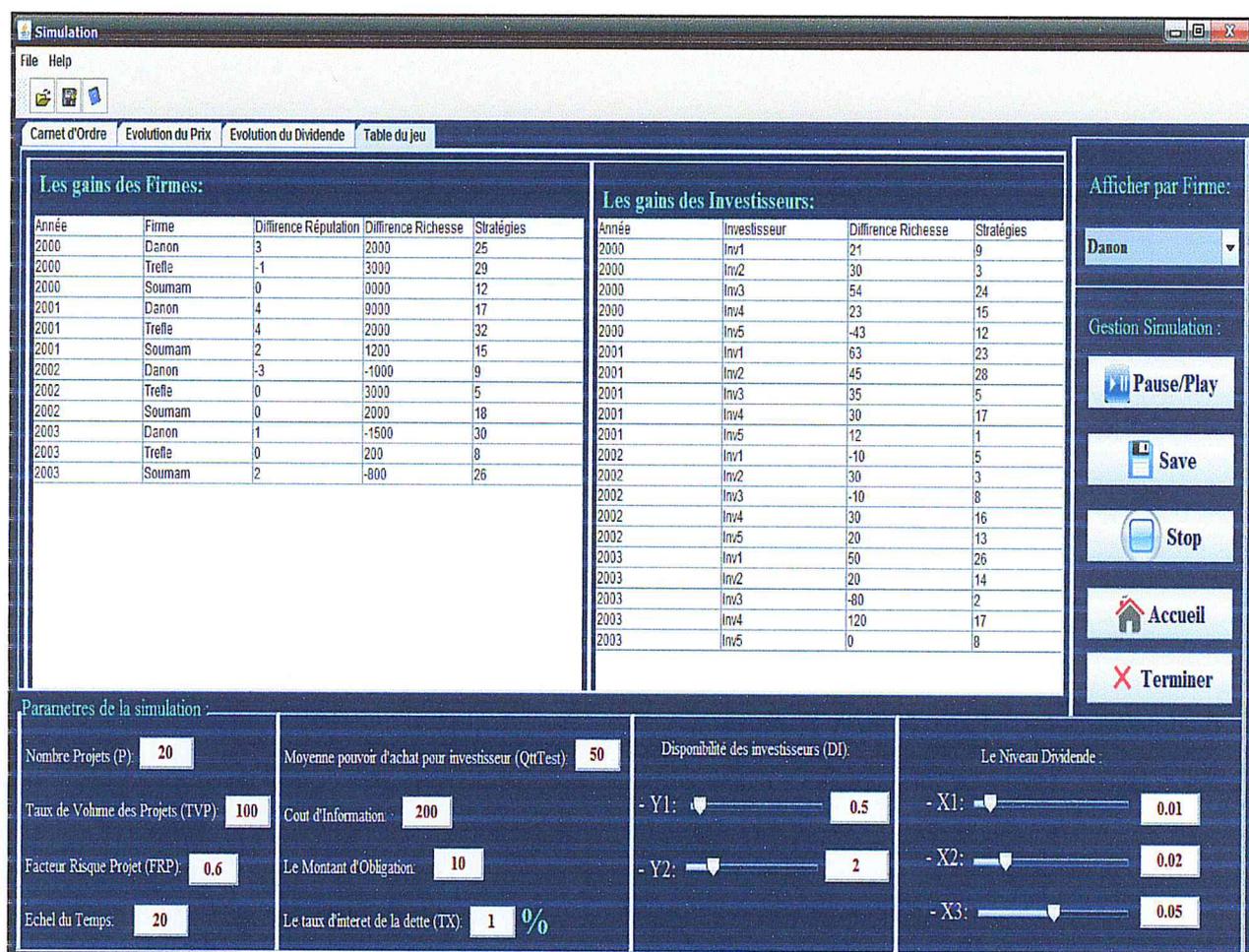


Figure 43: Interface Simulation « Table du jeu ».

Cette interface permet à l'utilisateur de savoir les gains de chaque un des participants tout au long de la simulation, ainsi que les stratégies qu'ils ont choisi chaque année. Avec c'est 4 interfaces, l'utilisateur aura une vision complète sur les raisons et les conséquences de tout phénomène financier dont le dividende est un facteur.

#### 4. Gestion de l'horloge

La gestion de l'horloge a été conçue de manière qu'elle permettra de faire des suspensions et en plus de pouvoir gérer la vitesse de l'exécution de notre système.

La toute première simulation commence à l'an 0, la date de la deuxième simulation commence à :  $simulation(1).durée$  ; d'une manière générale, la simulation de rang  $i$  commence à la date :  $\sum_{j=1}^{i-1} simulation(j).durée$

Remarque : les simulations non achevées n'influent pas sur le calendrier, si par exemple simulation(1) est interrompue, la simulation(2) commence à sa date prévue et pas à où simulation(1) s'est arrêté.

Dans notre application nous utilisons un agent secondaire chargé de cette gestion, d'après l'étude conceptuelle les agents sont réveillés dans un des événements décrits dans le tableau suivant :

Agent \ Evénement	Projet réalisé	Ex- dividende	CyA
<b>Firme</b>	Toucher les revenus	Verser le dividende. Payer les intérêts	Demander liste des projets. Disponibles
<b>Investisseur</b>	Mise à jour d'Exp	Toucher dividende Toucher intérêt	Exécuter cycle CS INF
<b>Distributeur</b>	Marquer projet exécuté		Création de nouveaux projets
<b>Marché</b>		Abaisser les cours par le montant du dividende	

Tableau 33: Gestion Horloge.

*Remarque* : La date Ex-dividende est en général la fin d'année, cet agent, soit appelé AgentTimer, vérifie si on n'a pas atteint la fin de la simulation, (durée simulation écoulée), si c'est le cas, il doit informer tout les agents que la simulation est achevée.

## 5. Conclusion

Il est désormais possible de simuler un marché financier à carnets d'ordres qui permet de reproduire le fonctionnement d'un marché financier réel.

Grâce à notre modèle, nous pouvons tester l'impact de la signalisation de dividende sur le cours des actions et sur l'évolution du portefeuille des agents firmes implémentés, de plus, notre modèle offre à l'utilisateur la possibilité de paramétrer sa simulation selon ses objectifs et d'en récolter les résultats pour faire sa propre analyse.

Notre prototype offre également, à travers l'interface utilisateur, la possibilité d'administrer la simulation en faisant le choix des titres qui seront disponibles sur le

marché simulé, ainsi que la possibilité de suivre en temps réel la simulation, grâce à l'agent marché qui, en même temps qu'il gère les transactions, affiche à utilisateur les carnets d'ordre comme dans un marché financier réel.

Cette interface devrait être sujette à de futurs travaux afin d'offrir un maximum de fonctionnalités visant à aider l'utilisateur dans sa démarche de description du marché financier.

Le comportement des agents firmes qui peuvent être introduit dans le marché simulé peut également être étendu à d'autres comportements afin d'enrichir le modèle de marché et de donner à l'utilisateur un choix plus large et de ce fait lui permettre de faire une analyse plus complète.

## Conclusion Générale

Dans ce mémoire, nous avons donné un aperçu sur les systèmes multi-agents et présenté leurs applications dans la simulation de marchés financiers. Nous avons aussi exposé la nécessité de simuler de tels marchés afin d'essayer de comprendre l'apparition de phénomènes complexes et non déterministes tels que l'annonce et la signalisation par le dividende.

Nous nous sommes donc intéressés aux différents modèles de marchés financiers artificiels déjà proposés, et nous avons choisi le modèle représentatif du fonctionnement d'un marché financier à carnets d'ordres, qui fonctionne de manière asynchrone et dans lequel les agents implémentés sont munis d'un module d'apprentissage basé sur les systèmes de classeurs qui permet aux agents d'apprendre de leurs expériences et de ce fait améliorer leurs décisions et ce pour se rapprocher au mieux du comportement des investisseurs tels que nous les connaissons dans un marché financier réel.

L'étude effectuée sur la simulation des marchés financiers nous a permis d'appréhender la complexité de ce genre de systèmes et de cerner les difficultés majeures que présentait la modélisation de tels systèmes.

Les modélisations centrées groupes des marchés financiers ont pour limite l'utilisation de variables continues pour un problème discret. Les modélisations centrées individus résolvent ce problème en utilisant un ensemble d'individus hétérogènes où chacun à ses propres caractéristiques. Mais les modèles de marchés financiers artificiels qui ont été développés jusqu'à présent, sont simplistes et ne prennent pas en considération les agents firmes et leurs politiques d'investissement et de signalisation par le dividende.

La thèse de neutralité et la thèse de non neutralité du dividende ont été étudiées dans certains modèles pour analyser l'effet de la signalisation sur le cours et donc sur le marché. Cependant, ces modèles ne donnent pas de détails sur les stratégies de distribution du dividende par les firmes et donc ne répondent pas aux préoccupations des spécialistes des politiques du dividende.

Les modèles de la théorie des jeux dans la signalisation par le dividende ont exposé le problème de signalisation dans des contextes différents. Ces modèles permettent d'étudier les interactions stratégiques des firmes dans leurs recherches d'une meilleure gestion de leurs dividendes en prenant en considération les décisions des autres firmes. Le premier modèle a étudié l'influence de la situation économique sur le niveau de

dividende à annoncer. Le deuxième a mis l'accent sur la possession des investisseurs d'une information privilégiée sur l'état de la firme et par conséquent quant à son honnêteté par rapport à ses dividendes publiés. Ce modèle suggère aussi aux firmes de vendre des actions plutôt que des obligations si elle veut se montrer en bonne santé. Le troisième modèle a proposé une démarche de politique de dividendes des firmes liée aux projets d'investissements et leurs niveaux de risques ainsi que l'évolution de leurs réputations durant leurs différentes actions financières.

Ces modèles malgré leur importance dans l'étude des interactions stratégiques liées aux annonces de dividendes des firmes, présentent des limites qui résident dans le fait que la politique du dividende dépend de tous ces facteurs étudiés mais réunis.

Nous avons alors procédé à la conception de notre modèle de marché financier artificiel qui prend en considérations tous ces paramètres.

Notre système prend en considération tous les acteurs (agents) qui peuvent intervenir dans un marché et qui sont les agents firmes, investisseurs et spéculateurs.

Notre jeu est défini dans les différentes stratégies de nos agents firmes et investisseurs avec les récompenses (reward) de l'environnement correspondant à la fonction utilité.

La simulation multi-agent de notre jeu a permis de voir que les joueurs prennent des stratégies alternatives entre coopération et non-coopération (en cas de situation d'équilibre qui doit normalement inciter les joueurs à ne pas changer de stratégies mais les changent quand même pour essayer de gagner plus).

Les travaux en informatique traitant le dividende comme étant un signal qui sert à manipuler le marché sont rares. Notre travail met à disposition des analystes financiers un outil d'aide à la décision et de prédiction. Basé sur des théories économiques, notre système prend de la valeur par le fait de combiner des techniques et des concepts tirés de trois sciences dont l'importance est incontestable. Les maths (théorie des jeux), l'économie (marchés financiers) et l'informatique (systèmes multi-agent et apprentissage automatique). Nous somme convaincu que notre travail n'est pas parfait, et qu'il reste toujours à compléter, mais il peut toujours être réutilisé partiellement ou totalement dans le but de réaliser d'autres futur travaux.

## Perspectives

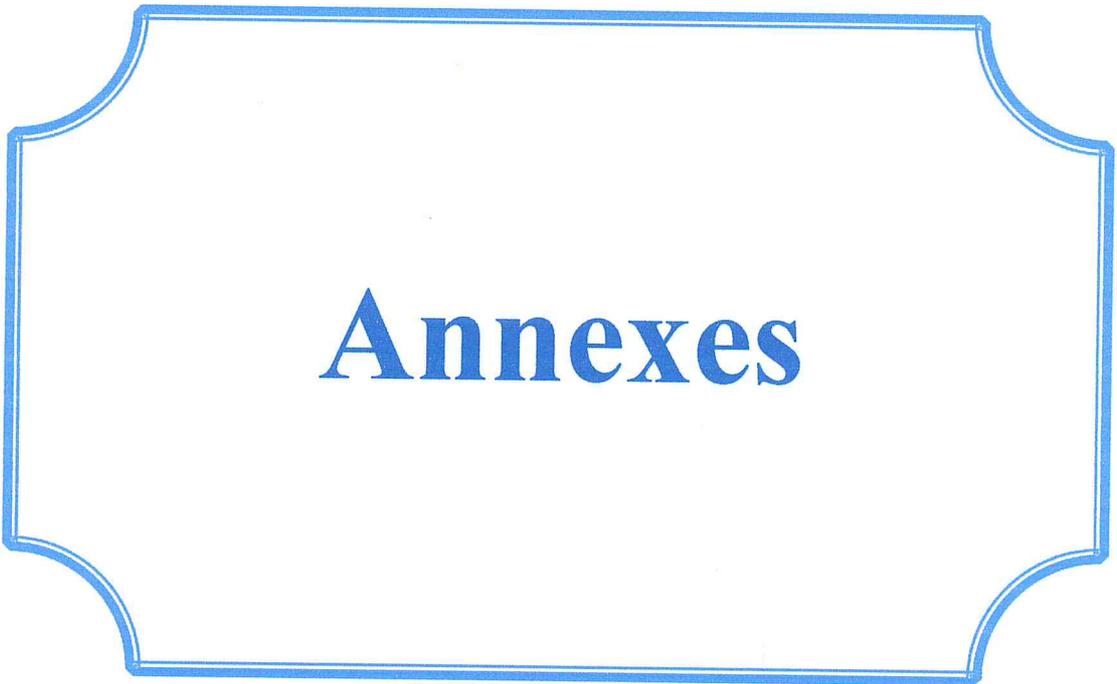
Notons que notre travail peut être enrichi par de futur travaux, et ce, afin d'améliorer certains aspects qui restent à développer:

- Enrichir la microstructure du marché en introduisant tous les types d'ordres disponibles dans un marché financier réel.
- Améliorer le module d'apprentissage des agents investisseurs en améliorant l'utilisation des systèmes de classeurs.
- On peut modifier l'agent spéculateur pour qu'il puisse comporter comme un investisseur en intégrant un module d'apprentissage, en plus nous avons considéré qu'il existe un seul spéculateur à qui s'adressent tout les investisseurs, cependant dans le monde réel il peut y avoir plusieurs et avec plus de fonctionnalité.
- Les facteurs influant sur les bourses ne s'arrêtent pas à ce que nous avons pris (réputation et liquidité ... etc.) mais aussi à des facteurs politico-économiques.
- Notre système ne s'intéresse qu'à deux produits financiers, les actions et les obligations, mais le fait d'avoir une table « typeActif » rend la réutilisation plus possible en ajoutant d'autres produits.
- Les obligations sont échangées comme les actions dans le marché primaire et le secondaire.
- La validité de l'ordre (étudié dans le premier chapitre) n'est prise en considération, si le temps ne suffira on va l'ajouter.
- Les obligations ont tous la même échéance et le même taux d'intérêt, qui seront fixé lors de la simulation.
- Les actions sont supposées aussi tous ordinaires.
- Les dividendes sont payés par toutes les firmes à une date connue (ex-dividende) fixé par le système à chaque nouvelle année (simulée).
- On va éliminer la notion de domaines, c'est-à-dire tous les projets intéressent toutes les firmes (forte concurrence) puisque le système est basé sur le comportement des firmes.

- L'AgentTimer à un rôle purement technique, c'est pour cette raison qu'il n'a pas apparu dans le chapitre 6 (conception), nous l'avons considéré comme une solution d'un problème rencontré lors de l'implémentation (synchroniser les agents lors des événements important comme la date Ex- dividende par exemple)
- Nous n'avons pas utilisé la notion de fixing et le processus d'ouverture et de fermeture des marchés réels, le marché est supposé ouvert à tout moment. Ce qui est à cause de la difficulté de gérer des intervalles de temps très petits (une année est supposée entre 10 et 50 secondes). Une telle règles aurai alourdir considérablement notre système.
- Dans ce mémoire, nous avons utilisé un seul type de dividende qui est le dividende d'une action ordinaire. Il est possible de traiter autres types à l'avenir.
- Il était possible de mémoriser des informations comme '*Exp*', cependant nous avons choisi de ne pas le faire pour la simple raison de modéliser un investisseur informé tant qu'il est actionnaire, il perd cette caractéristique avec la vente de sa dernière actions.
- L'investisseur étant possesseur d'une connaissance sur la firme quand il est actionnaire, peut jouer un rôle de spéculation ou d'un conseiller en révélant ces informations contre un certain cout.
- Nous pouvions calculer la fonction de reward en fonction des gains réalisés, donc après exécution de la décision (utiliser les données de la table richesse) au lieu de faire une pré-évaluation (en implantant le raisonnement humain, en comparant les conditions avec l'action choisie). Cependant nous avons décidé d'utiliser la pré-évaluation pour les reward et laisser à l'utilisateur le soin d'analyser la tables du jeu et les '*conséquences*' des stratégies adopté au cours de la simulation.

## Glossaire

- **BRI:** Bank for International Settlements.
- **Marché TCN :** marché de Titres de Créances Négociables.
- **Euronext :** Bourse européenne produit de la fusion des grandes places de marché européennes.
- **NASDAQ:** National Association of Securities Dealers Automated Quotations .2èm plus grand marché américain.
- **NYSE:** New York Stock Exchange bourse de New-York.
- **COB:** Commissariat des opérations boursières.
- **LIFFE:** London International Financial Futures and options Exchange.



# **Annexes**

## Annexe A

### ART (Artificial Reasoning Toolkit)

#### 1. Présentation générale [LAM, 04]

L'ART est une bibliothèque de classes java, consacrée à la manipulation des les algorithmes génétiques (AG) et les systèmes de classeurs (CS).

Elle a été développée afin d'être utilisée dans les modèles de simulations des agents, ces agents qui sont bien sûr : intelligents, autonomes capables de décider et gérer ses propres comportements, et qui sont capables de changer ces comportements dans les différentes conditions des environnements.

Art, fonctionne avec le Sun JDK 1.3.X et 1.4.X, on trouve ces version du java dans le site web : <http://www.java.sun.com>. Pour la compilation et l'exécution des applications art, la manière la plus facile est d'utiliser Java Ant d'Apache groupe : <http://ant.apache.com>

#### 1. L'utilisation d'ART dans les systèmes de classeurs

Pour l'utilisation de l'art dans les CS quelques sont suffisantes :

- Importer le package ART dans les classes ;
- Créer et initialiser le fichier de paramètre ;
- Créer la classe qui implémente l'interface *Detector* et qui définit la méthode *getCondition()* ;
- Créer une instance de la classe *CsManager*, que l'utilisateur peut l'accéder dans la classe main pour manipuler toute les opérations de base du l'CS ;
- Passer le message de l'environnement au système de classeur;
- Rétribuer les règles après et ceci en implémentant une fonction de rétribution des règles (**Reward**).

#### 2. Description des paramètres du fichier XML

```
<?xml version="1.0"?>
<art-configuration>
<project name=" projectName " type=" type ">
    ...
</project>
</art-configuration>
```

Chaque projet doit avoir son nom "project name", et le type peut être :

ga : pour l'algorithme génétique ;

cs : pour le système de classeur.

## 2.1. PARAMETRES GENERAUX

- **randomSeed** : c'est paramètre qui contrôle la génération d'un nombre de type long aléatoire, et initialise tout les nombres aléatoires dans l'application. Il y a la classe **MyRandomMaker.class** qui produit des différentes random générateurs pour chaque objet (par exemple chaque gène a son propre random générateur) pour l'initialisation le nombre aléatoire généré par **nextLong()**, du générateur principal contrôlé par le paramètre de **randomSeed**.

- **verboseness** : le degré de verbosité désiré pendant l'exécution, les options autorisées sont :

0 = mode silencieux (valeur par défaut) ; 1 = verbose ;(en anglais)

2 = très verbose ; 3 = mode debug.

- **logStatistics** : cette option active ou désactive l'enregistrement de quelques statistiques dans le processus d'évaluation. Les statistiques du chromosome sont écrites dans le fichier :

"/log/chromosomeStatistics.txt", et les statistiques de population sont dans le fichier :

"/log/populationStatistics.txt". Les valeurs sont :

0 = aucun enregistrement (valeur par défaut) ;

1 = enregistrer que les statistiques de la population ;

2 = enregistrer les statistiques de la population et des chromosomes.

- **plotGraph** : si égal à 1 quelques graphes dynamiques doivent être tracés. Les valeurs sont

0 = ne pas tracer le graphe ; 1 = tracer le graphe (valeur par défaut).

## 2.2. Les paramètres pour les AG

Ces paramètres sont spécialement pour les algorithmes génétiques, mais ils doivent être définis quand le système de classeur est utilisé, parce que l'apprentissage est un part utilisé dans l'implémentation des AG.

Les paramètres sont :

- **populationSize** : c'est la taille de la population, c'est-à-dire le nombre des chromosomes gérés. **Type Integer**.

La valeur par défaut peut être de 100 pour l'AG et 1.5 MaxRulesNumber pour le CS.

- **stoppingMethod** : quand l'AG doit arrêter les évaluations :
  - 0 = n'arrête jamais (valeur par défaut pour CS) ;
  - 1 = arrêter sur une convergence donnée (valeur par défaut pour AG) ;
  - 2 = arrêter sur une génération donnée;
  - 3 = arrêter quand une valeur de fitness est atteinte.
- **stoppingValue** : la valeur où l'évaluation s'arrête. Dépend de **stoppingMethod**
  - si **stoppingMethod** = 1 c'est la valeur de convergence sur laquelle on s'arrête (réel entre 0-1) ;
  - si **stoppingMethod** = 2 c'est la génération sur laquelle on doit s'arrêter (entier > 1).
  - si **stoppingMethod** = 3 c'est la fitness à laquelle on doit s'arrêter (réel).
- **chromosomeToReturn**: choisit si le calcul de la meilleure stratégie retourne :
  - 1 = retourne le chromosome le plus répandu (valeur par défaut).
  - 2 = retourne le chromosome le plus convenable.
- **normalizeFitness** : définit si la fonction d'adaptation (fitness) doit être recalculée. cette option est utile pour gérer la fitness négative est montrer la performance d'AG. les options sont :
  - 0 = ne pas recalculer la fitness (valeur par défaut pour le CS);
  - 1 = recalculer la fitness (valeur par défaut pour AG)
- **mutateAdults**: si les mutations sont aussi appliqués aux chromosomes nés 1 ou plus génération (adultes). Cette option est habituellement initialisée à 0 (valeur = 0), et elle se peut être utile dans des cas spéciaux. Ces valeurs sont :
  - 0 = ne pas muter les adultes, muter les fils seulement (valeur par défaut).
  - 1 = muter les adultes.
- **fittestNeverDie**: ce paramètre nous indique l'individu que l'individu le plus convenable est toujours choisit pour vivre dans la prochaine génération. les valeurs sont :
  - 0 = ne pas forcer la sélection le plus convenable chromosome à vivre (valeur par défaut).
  - 1 = forcer la sélection du chromosome le plus convenable pour la survie.

- **turnoverRate:** partie de la population qui va devenir parent pour produire la prochaine génération (réel). (Valeur par défaut c'est 0.8 pour AG et 0.3 pour CS).
- **chromosomeLength:** nombre de génomes dans chaque chromosome, la valeur est définie par l'utilisateur dans un AG et est obligatoirement de 2 dans un CS.

### 2.3. Les paramètres pour les génomes

- Tous ces paramètres sont liés au génome, ils sont requis pour spécifier pour chaque génome qui compose un chromosome. Le nombre des différents types de génomes est égal au nombre total de génomes dans chaque chromosome.
- Chaque génome est une étiquette <genome> un bloc dans le fichier de configuration.
- Ces paramètres doivent être définis aussi pour les projets de CS.

Les paramètres de chaque génome sont les suivants :

- **genomeLength:** c'est le nombre de gènes dans ce génome.
- **domain:** alphabet utilisé par ce génome. Le domaine est le nombre des états que le gène peut prendre. L'alphabet se commence de 0 à domain-1. Habituellement un AG standard a un alphabet binaire, alors son domaine sera 2(veut dire 2 modes possibles : 0 et 1). Valeur par défaut est 2. Pour le CS les valeurs doivent être 3 pour la partie de condition (binaire plus caractère de remplacement #) et 2 pour la partie d'action (binaire).
- **genomeType:** définit si le gène doit être aléatoire (la valeur par défaut pour la plupart des problèmes) ou univoque (seulement pour des problèmes spécifiques comme le quiz). Dans le génome univoque chaque gène peut être présenté juste une fois, pas de gènes dupliqués sont autorisés dans le même génome. Le CS autorise seulement des génomes aléatoires. Les valeurs sont:
  - 0 = génome aléatoire (valeur par défaut) ;
  - 1 = génome univoque.
- **crossOverPointNumber:** le nombre des points de croisement pour chaque génome dans chaque évaluation. La valeur standard est 1.

- **crossOverRate:** ce taux identifie la probabilité du point de croisement de chaque chromosome de la population. valeur standard est 0.5 pour le AG et 1 pour le CS.
- **mutationRate:** ce taux identifie la probabilité de la mutation aléatoire appliqué pour chaque gène. La valeur standard est 0.001.

#### 2.4. les paramètres pour les CS

Pour le système de classeur, il y a des paramètres spécifiques que l'AG n'a pas besoin.

Les paramètres sont :

- **evolutionRate :** taux d'évaluation utilisé pour décider quand l'exécution d'une évaluation. La valeur par défaut est : 0.01.
- **evolutionBrake:** si la récompense de l'action est correcte (récompense = 1) pour le nombre de cycle déclaré par ce paramètre l'évaluation est exclue pour éviter disparition des bons classeurs. La valeur par défaut est 100. Si elle est à 0 le frein est désactivé, cette configuration est proposé quand le memoList est utilisé (memoListSize = 0).
- **coverDetectorStrategy:** le détecteur de couverture est une fonction qui appelée quand un message est arrivé de l'environnement ne ressemble à aucun classeur. Ce détecteur modifie semblable et le moins adapté afin de forcer la correspondance. La valeur standard est 1.
  - **0** = le détecteur de couverture remplace les positions du classeur qui ont des valeurs différentes du message avec les valeurs du message. Avec cette stratégie on aura des classeurs spécifiques après quelques cycles (c'est la valeur par défaut).
  - **1** = le détecteur de couverture remplace les positions du classeur qui ont des valeurs différentes du message avec le caractère de remplacement #. Cette stratégie crée des classeurs moins spécifiques.
- **selectionForDieStrategy:** il y a des algorithmes différents pour la sélection quel classeur à éliminer. La valeur standard est 0 ;
  - **0** = un algorithme rapide et efficace qui sélectionne un nombre d'individu prédéfinis similaire au fils. ( $\text{differentiationRate} * \text{populationSize}$ ) et éliminer le moins adapté.(valeur par défaut).
  - **1** = algorithme de sélection de Goldberg ; bons résultats mais très lent ;

- 2 = algorithme de différenciation, le but de cette approche est de différencier les populations le max possible et doit être utilisé dans des cas particuliers.
- **differentiationRate:** paramètre utilisé par l'algorithme 0 de selectionForDieStrategy. Valeur par défaut 0.5.
- **initialFitness :** initialiser la fitness de la population. Valeur par défaut 10.
- **wildCardRate:** la probabilité que le caractère de remplacement est la valeur initiale de chaque gène dans la population. Valeur par défaut 0.2
- **lifeTax :** taux payé de la fitness à chaque cycle par chaque classeur. Valeur par défaut 0.05
- **bidTax:** Taux payé par chaque classeur pour faire une offre. Valeur par défaut est 0.25.
- **baseBidRate:** Offre non proportionnelle à la spécificité. Valeur par défaut est 0.25.
- **proportionalBidRate:** Offre proportionnelle à la spécificité. Valeur par défaut est 0.50.
- **randomBidBias:** biais aléatoire pour éviter que les offres soient égales. Valeur par défaut est 0.001.
- **maxAuctionWinners:** le nombre max des classeurs qui gagnent l'enchère simultanément. Valeur par défaut est 1.
- **maxActions:** le nombre max des actions retournées à l'environnement. Valeur par défaut est 1.
- **movingAverageLag:** le retard à utiliser pour calculer la moyenne flottante tracée dans le graphe choisit. La valeur par défaut est 100.
- **memoListSize:** c'est une amélioration du méthode utilisé pour simuler la mémoire humaine dans des déférentes situation. il est utile si des conditions spécifiques dont difficiles à résoudre qu'autres. La fitness est normalisée par rapport à son Max, Min et la moyenne de la fitness de la condition spécifique. Si l'action est évaluée plus le Max de fitness dans l'action passée pour la même condition la récompense est prend la valeur 2, si elle est moins la moyenne de la fitness de l'action précédente pour cette condition la récompense prend la valeur 0 et si elle est entre la moyenne et le Max la récompense est 1. Valeur par défaut est 0 (désactivé cette option).

- Il maintient une liste de tous les agents qui résident sur la plateforme (page blanche).
- Il contrôle l'accès ainsi l'utilisation du canal de communication des agents (ACC).
- **AGENT COMMUNICATION CHANEL (ACC ou MTS):**
  - Il gère la communication entre les agents :
    - Intra plateformes, Intra containers : Java Events.
    - Intra plateformes, Inter containers : RMI.
    - Inter Plateformes : IIOP Corba.
    - Messages ACL (FIPA).

Ces trois modules sont activés à chaque démarrage de la plateforme.

### **3. La norme FIPA**

La FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) est une organisation à but non lucratif fondée en 1996 dont l'objectif est de produire des standards pour l'interopération d'agents logiciels hétérogènes. Elle cherche à offrir des moyens standardisés permettant d'interpréter les communications entre agents de manière à respecter leur sens initial, ce qui est bien plus ambitieux que XMI, qui ne standardise que la structure syntaxique des documents. Afin d'atteindre ce but, le FIPA émet des standards couvrant :

- Les applications (applications nomades, agent de voyage personnel, applications de diffusion audiovisuelles, gestion de réseaux, assistant personnel...).
- Les architectures abstraites, définissant d'une manière générale les architectures d'agents.
- Les langages d'interaction (ACL), les langages de contenu (comme SI, CCL, KIF ou RDF) et les protocoles d'interaction.
- La gestion des agents (nommage, cycle de vie, description, mobilité, configuration).
- Le transport des messages : représentation (textuelle, binaire ou XML) des messages ACL, transport (par IIOP, WAP ou HTTP) de ces messages.

### **4. L'architecture logicielle de la plate forme JADE:**

JADE reprend donc l'architecture de l'Agent Management Reference Model proposé par FIPA. Les différents modules présentés dans la figure suivante sont présentés sous forme de services.

Les services de base proposés sont le Directory Facilitator (DF) et l'Agent Management System (AMS). Il est possible de lui demander de tenir en plus le service de Message Transport Service (MTS) pour communiquer entre plusieurs plates-formes.

Mais ce service sera chargé à la demande pour ne conserver par défaut que les fonctionnalités utiles à tout type d'utilisation.

L'agent est l'acteur fondamental de la plate-forme, un Agent Identifier (AID) identifie un agent de manière unique.

Le DF est un composant qui fait office d'annuaire. C'est un service de « pages jaunes » qui permet de mettre en relation les agents avec leurs compétences.

Un agent peut enregistrer ses compétences dans le DF ou interroger le DF pour connaître les compétences proposées par les autres agents.

L'AMS est un autre composant important car il contrôle l'accès et l'utilisation de la plate-forme et maintient un répertoire contenant les adresses de transport des agents de la plate-forme.

Ce service est plus un service de type « pages blanches » qui effectuent la correspondance entre l'agent et l'AID.

Chaque agent doit s'enregistrer à un AMS pour avoir un AID. Il n'y a qu'un AMS par plate-forme.

Le MTS est une méthode par défaut de communication entre agents de différentes plates-formes. Cela permet l'interconnexion entre systèmes hétérogènes ou tout au moins de systèmes ne communiquant pas de la même façon.

L'Agent Platform (AP) constitue l'infrastructure physique sur laquelle se déploient les agents. Il contient le DF, l'AMS et le MTS.

Lorsqu'on parle d'AP, on inclut souvent le matériel électronique, l'OS, le software et les composants cités ci-dessus avec les agents.

Enfin, l'Agent Identifier (AID) est un identifiant précis d'un agent. On lui donne plusieurs paramètres tels que l'adresse de transport, l'adresse de service de résolution de nom, ... Un exemple est : name@HAP (Home Agent Platform).

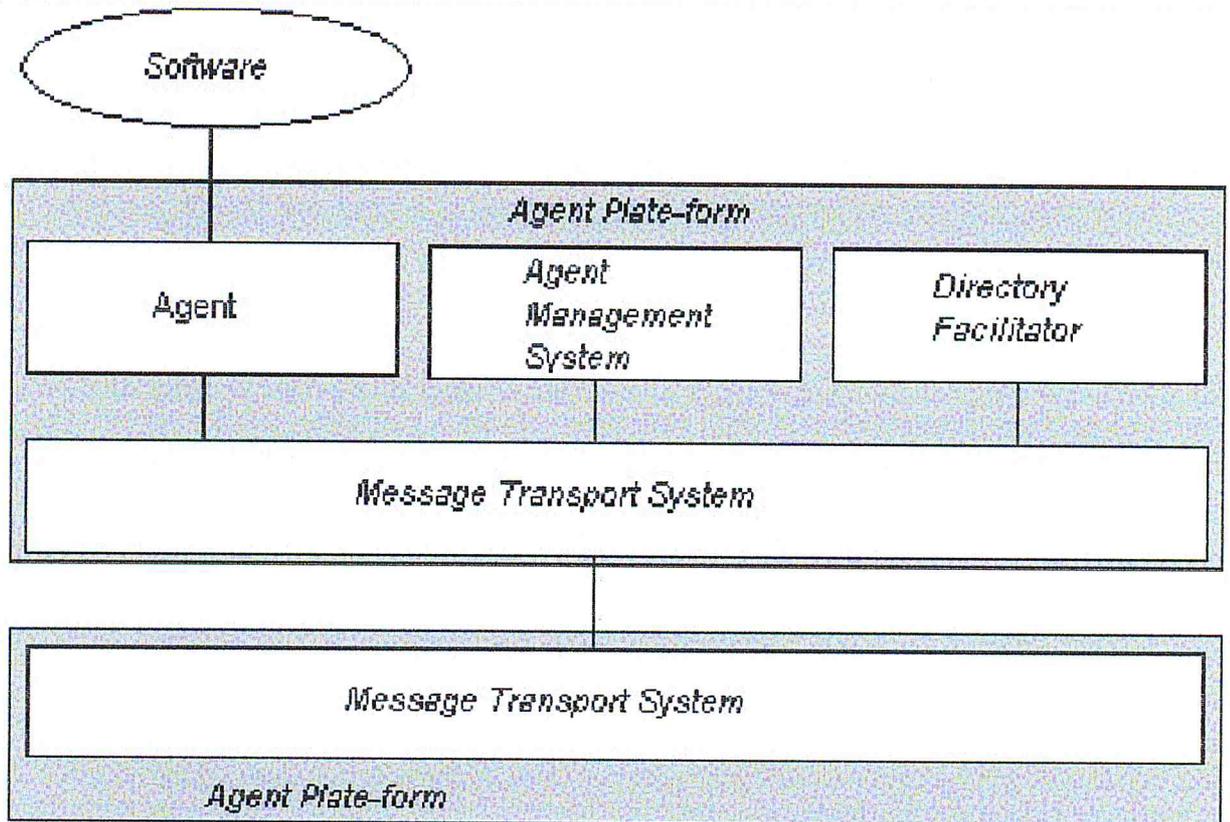


Figure 44: Architecture logiciel de la plate-forme JADE.

Dans la plate-forme JADE, deux méthodes sont fournies par la classe Agent afin d'obtenir l'identifiant de l'agent DF par défaut et celui de l'agent AMS :

- **getDefaultDF()** et respectivement **getAMS()** : ces deux agents permettent de maintenir une liste des services et des adresses de tous les autres agents de la plate-forme. Le service DF propose quatre méthodes afin de pouvoir :
  - Enregistrer un agent dans les pages jaunes (register).
  - Supprimer un agent des pages jaunes (deregister).
  - Modifier le nom d'un service fourni par un agent (modify).
  - Rechercher un service (search).
- Le service AMS (**Agent Management System**) s'utilise généralement de manière transparente (chaque agent créé est automatiquement enregistré auprès de l'AMS et se voit attribué une adresse unique). Ces deux services fournissent donc les annuaires qui permettent à n'importe quel agent de trouver un service ou un autre agent de la plate-forme.

## 5. Un agent Agent selon JADE

- Conforme au standard FIPA 2002 (Jade 3).
  - Cycle de vie.
  - S'exécute dans un conteneur.
  - Possède un ou plusieurs Comportements (Behaviours) qui définissent ses actions.
  - Communique et interagit avec les autres agents grâce à des messages (ACLMessage).
- Rend des services.

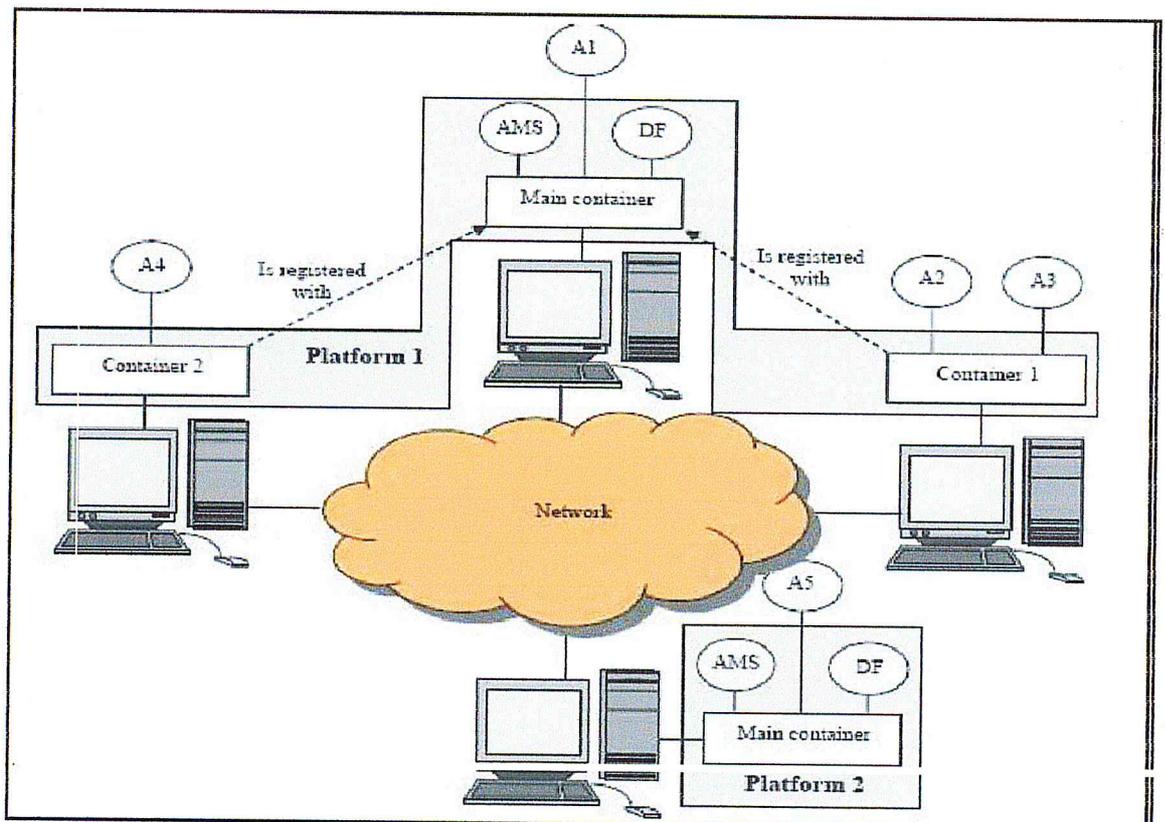


Figure 45: Architecture distribuée d'une plateforme Jade.

### 5.1. Le comportement (behaviour) :

- Il définit l'action d'un agent.
- Il assure l'ordonnancement et l'exécution de tâches multiples.

### 5.2. Communication

Pour que plusieurs agents JADE arrivent à collaborer, ils doivent s'échanger des messages. Chaque agent JADE possède une sorte de boîte aux lettres qui contient les messages qui lui sont envoyés par les autres agents. Ces boîtes aux lettres sont sous forme d'une liste qui contient les messages selon l'ordre chronologique de leur arrivée.

Les agents JADE utilisent des messages conformes aux spécifications de la FIPA (FIPA-ACI). Les messages JADE sont des instances de la classe ACI.Message du package jade.lang.acl. Ces messages sont composés en général de :

- L'émetteur du message : un champ rempli automatiquement lors de l'envoi d'un message.
- L'ensemble des récepteurs du message : un message peut être envoyé à plusieurs agents simultanément.
- L'acte de communication : qui représente le but de l'envoi du message en cours (informer l'agent récepteur, appel d'offre, réponse à une requête,)
- Le contenu du message.
- Un ensemble de champs facultatifs, comme la langue utilisée, l'ontologie, le timeout, l'adresse de réponse à une requête).

### 5.3. Service

- C'est une action enregistré et dispensé par la plate-forme.
- Comportement d'un ou plusieurs agents répondant à une demande.
- Notion de page jaune.

## 6. Programmer avec JADE

### 6.1. Création d'agent

- **Etendre la class jade.core.Agent :**
  - *import jade.core.agent.*
  - *public class monAgent extends Agent.*
- **Chaque agent est identifié par AID :**
  - *Methode getAID() pour recuperer l'AID*
- **Dans la méthode setup() (Obligatoire) :**
  - *Enregistrer les langages de contenu.*
  - *Enregistrer les Ontologies.*
  - *Enregistrer les Services auprès du DF.*
  - *Démarrer les Comportements (behaviors).*

### 6.2. Nommage des agents

- Le nom d'un agent est de la forme : <nom-agent>@<nom-plate-forme>
- Le nom doit être globalement unique.

### 6.3. Méthodes de la classe Agent

- la méthode getArguments() : pour obtenir les arguments d'un agent.
- la méthode doDelete() : pour tuer un agent.
- la méthode TakeDown() : pour le « agent garbage collector » .

Exemple d'agent :

```
protected void setup() {
    System.out.println("Hallo World! my name is "+getAID().getName());
    Object[] args = getArguments();
    if (args != null) {
        System.out.println("My arguments are:");
        for (int i = 0; i < args.length; ++i) {
            System.out.println("- "+args[i]);
        }
    }
    doDelete();
}

protected void takeDown() {
    System.out.println("Bye...");
}
```

#### 6.4. création d'un comportement

- Étendre la class « behaviour » : *public class MyBehaviour.*
- Créer le constructeur avec le super classe :

```
Public myBehaviour(Agent agent){
Super(agent);
}
```

créer ma méthode action () (obligatoire) qui correspond à l'exécution du behaviour :

```
public void action(){« code du behaviour »}
```

pour faire une tache à un agent :

Créer une instance de la sous class behaviour.

appeler la méthode MonAgent.addBehaviour().

chaque sous class doit avoir les méthodes :

*public void action()* : ce que fait le behaviour.

*public boolean done()* : si le behaviour est fini ou non.

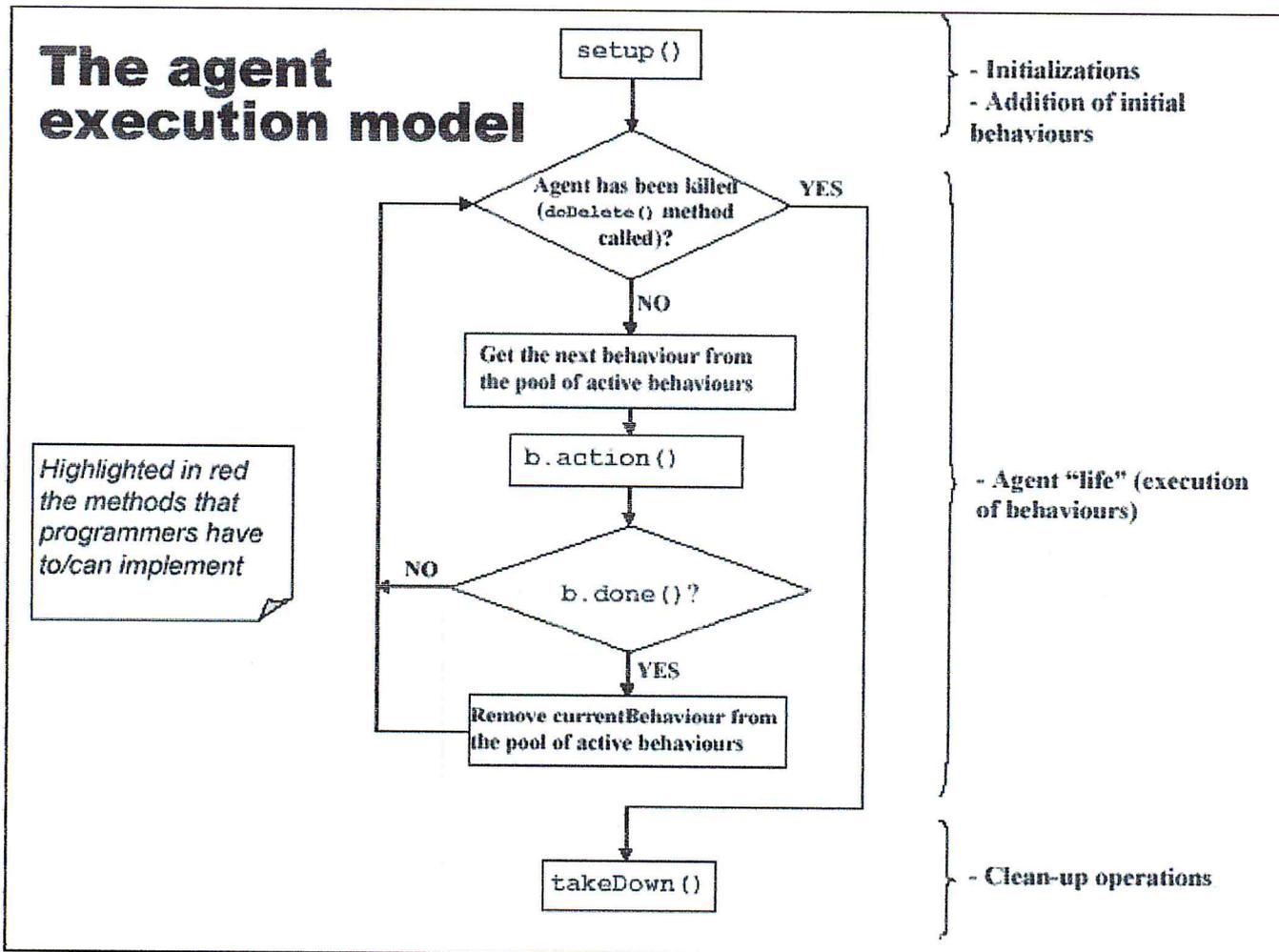


Figure 46: Le fonctionnement d'un agent.

## 6.5. La communication entre les agents

- Messages codés en ACL.
- Transmission asynchrone.
- Message instancié par la class : *jade.lang.acl.ACLMessage*.

### Envoie d'un message :

```

ACLMessage message = new ACLMessage(ACLMessage.INFORM);
message.addReceiver(new AID("said", AID.ISLOCALNAME));
message.setContent("bonjour");
send(message);
  
```

Ce message est envoyé à l'agent appelé **said** pour lui dire **bonjour**.

### Reception d'un message :

```

ACLMessage messageRecu = receive();
  
```

### Attente d'un message :

```
Message = receive() ;
```

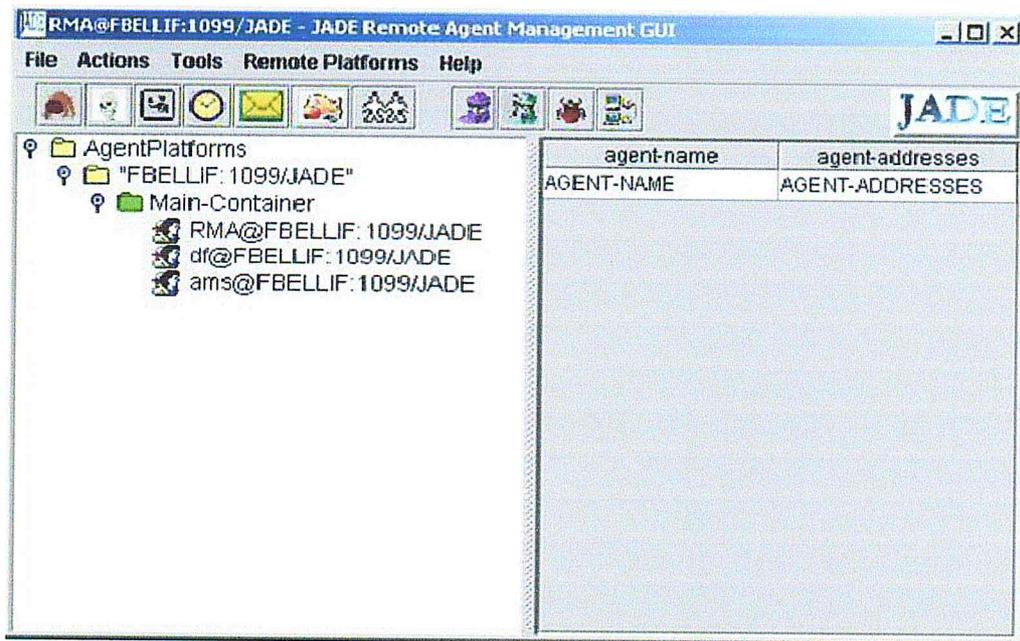
```
If (message == null) block();
```

```
//traitement à faire après avoir reçu le message.
```

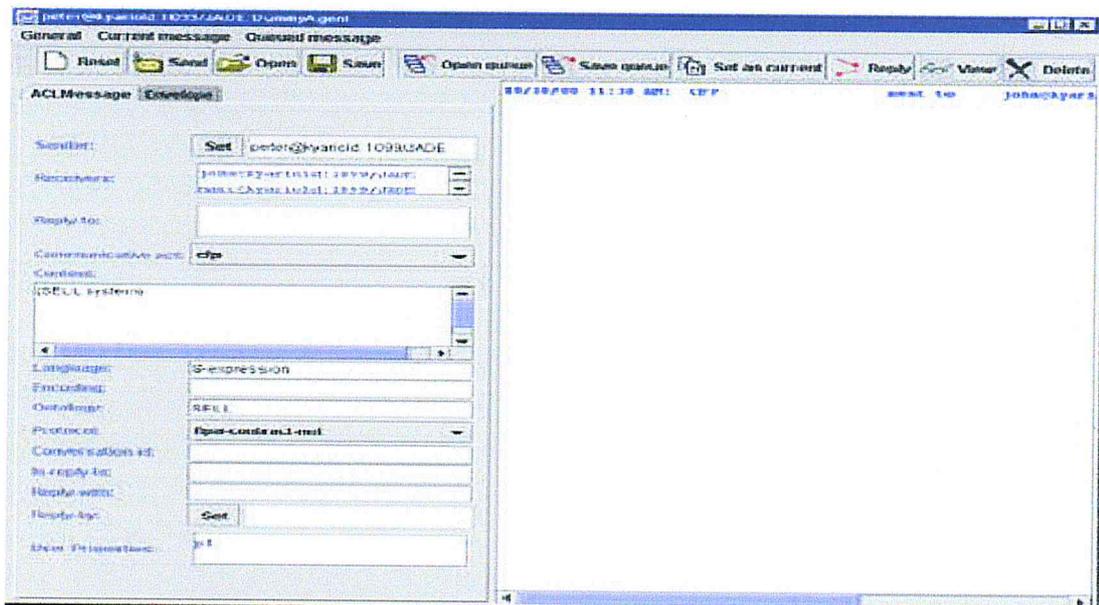
**Block()** : c'est une méthode qui permet de bloquer tous les behaviour jusqu'à la réception d'un message.

## 6.6. Les outils

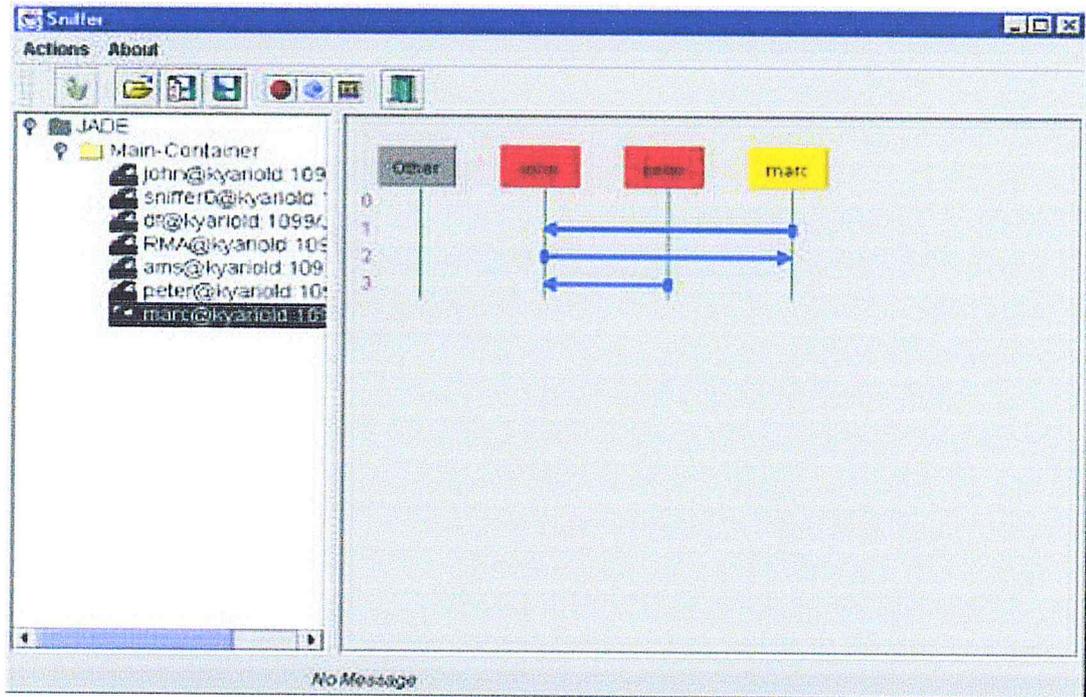
**Jade GUI** : permet de contrôler les agents.



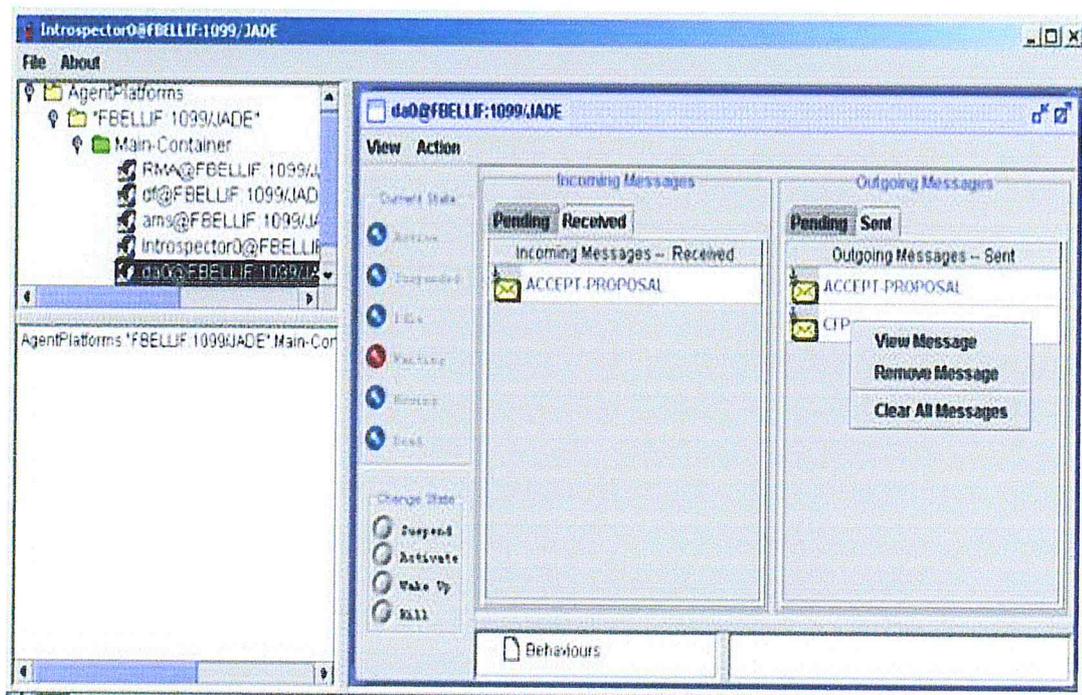
**Dummy Agent** : pour envoyer et recevoir des messages.



**Sniffer Agent** : surveille les échanges de message dans une plateforme.



**Introspector Agent :** pour surveiller l'activité d'un agent(message, cycle de vie).



## Annexe C

### AUML (Agent Unified Modeling Language)

#### 1. Introduction [Web 22]

Les faiblesses d'UML pour la représentation des systèmes multi-agents ont conduit une équipe de chercheurs travaillant dans différentes entreprises ou universités (Siemens, University Paderborn, Intelligent Automation, Fujitsu...) à concevoir AUML. L'objectif est de mettre au point des sémantiques communes, des méta-modèles et une syntaxe générique pour les méthodologies agents. AUML est un des fruits de la coopération entre FIPA (Foundation of Intelligent Physical Agents) et l'OMG (Object Management Group). Par rapport à UML, Agent-UML propose des extensions pour la représentation des agents que nous détaillons dans cette annexe.

#### 2. Principe sur UML

UML (Unified Modeling Language) unifie et formalise les méthodes de plusieurs approches orientées objets. UML prend en charge plusieurs types de modèles :

- **Les cas d'utilisation** : la spécification des actions que le système ou la classe peut réaliser en interaction avec les acteurs extérieurs. Ils sont souvent utilisés pour décrire comment un utilisateur communique avec son logiciel.
- **Les modèles statiques** : ils décrivent la sémantique statique des données et des messages d'une manière conceptuelle et d'une manière plus proche de l'implémentation (il s'agit des diagrammes de classes et de packages).
- **Les modèles dynamiques** : ils incluent les diagrammes d'interaction (i.e., les diagrammes de séquence et les diagrammes de collaboration), les schémas d'état et les diagrammes d'activité.
- **Les modèles d'implémentation** : ils décrivent la répartition des composants sur différentes plateformes (i.e., les modèles de composants et les diagrammes de déploiement).

#### 3. Déficiences d'UML

L'idée générale d'AUML est de combler les déficiences d'UML pour la modélisation des systèmes à agents. Parmi ces déficiences, on trouve :

- Des relations entre classes statiques (agrégation, généralisation, et association) mais qui semblent tout de même adéquats. Il est possible d'utiliser des

associations de classes et des stéréotypes pour étendre UML avec des relations spécifiques pour les agents.

- Les accointances sont des relations importantes entre agents. Il s'agit d'une relation dynamique entre des instances et UML n'est pas très adapté pour les représenter.
- Un certain nombre de concepts de haut niveau (comme les engagements, les contrats, etc.) peuvent être relativement bien représentés avec UML mais d'autres (comme les croyances et les intentions) ne le peuvent pas.
- Il est difficile de représenter l'état interne des agents. Il faudrait un modèle proposant des concepts de haut niveau « cognitif » (BDI, BC, GAP, ...).
- UML n'est pas efficace pour représenter des connaissances fonctionnelles (buts, planification, process, etc.). Pourtant beaucoup de méthodologies agents utilisent les buts et la décomposition de buts en sous-buts.
- Il n'est pas évident que les approches de modélisation à états finis soient adaptées pour les agents. Les agents ont des espaces d'états vastes qu'il n'est pas évident de partitionner en un plus petit nombre de macro-états de plus haut niveau. Les agents peuvent apprendre et s'adapter à différentes choses et des paramètres comme les croyances interagissent pour influencer le comportement de façons subtiles. Ces systèmes sont dynamiques, non linéaires et ont un comportement émergent.

#### 4. AUML

AUML est basé sur la méthode UML (Unified Modeling Language) qui est une méthode de génie logiciel utilisée pour les développements en langages orientés-objets. Elle est déjà largement utilisée par la communauté des concepteurs-objet et son succès continue de croître.

Comme nous l'avons déjà vu, par rapport aux objets, les agents ont des activités autonomes et des buts. C'est cette différence qui entraîne l'insuffisance d'UML pour modéliser les agents et les systèmes multi-agents. Aussi AUML remplace-t-il la notion de méthode par celle de service. Ses principales extensions sont :

Diagramme de classes d'agent qui est une reformulation du diagramme de classes d'objets,

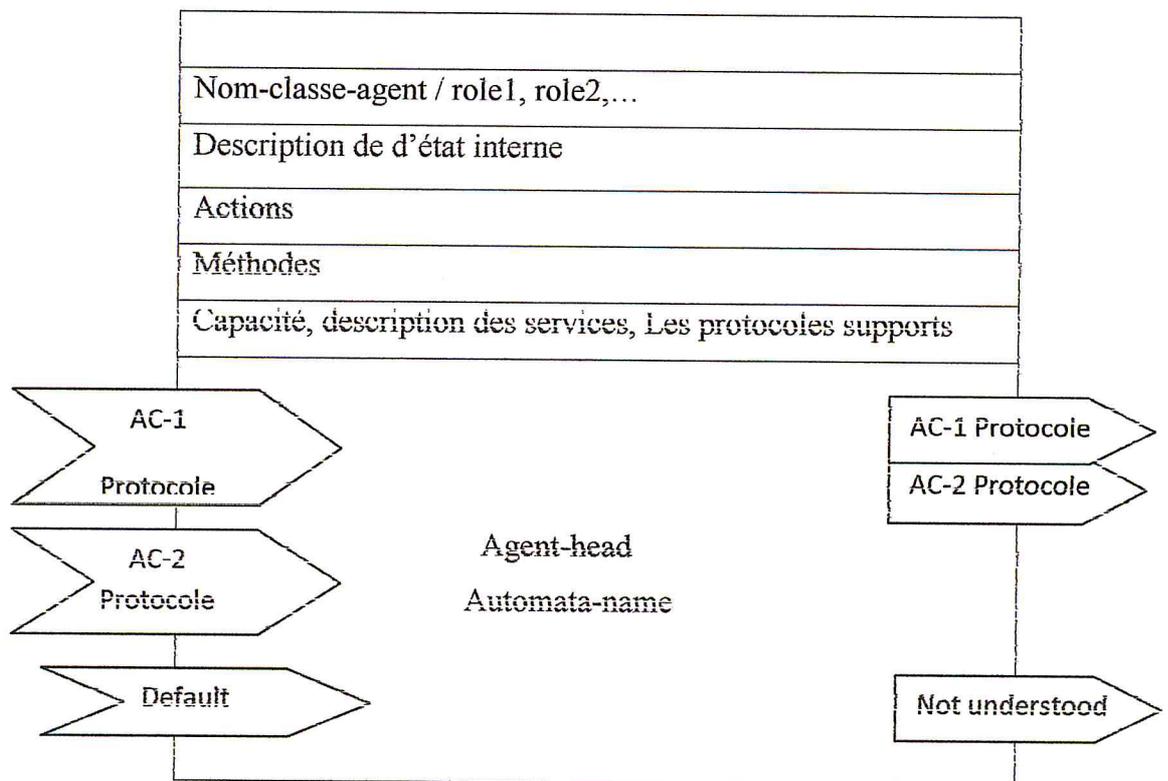
Diagramme de séquence qui permet une meilleure modélisation des interactions entre agents.

Diagramme de collaboration qui complète le diagramme de séquences en proposant une autre lecture et vision des interactions entre agents.

## 5. Présentation générale des plus importantes extensions d'AUMI.

### 5.1. Le diagramme de classe d'Agent

Un diagramme de classes agent doit supporter tous les concepts liés à l'agent, ce diagramme est illustré dans la figure suivante :

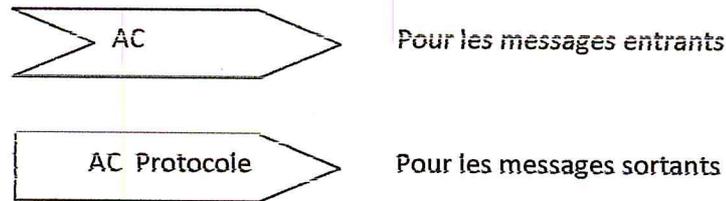


*Diagramme de Classe agent*

Les propriétés de ce diagramme sont:

- **Nom de la classe agent/ rôle1, rôle2,...:** Un agent d'une classe donnée peut avoir plusieurs rôles (un détaillant peut être acheteur ou vendeur).
- **Description des états:** Définition de variables d'instance qui reflètent l'état de l'agent,
- **Actions(Plans):** deux types d'actions peuvent être spécifiés: action **pro-active** exécutée par l'agent lui même si une précondition devient vraie, et **ré-active** résultant d'un message reçu d'un autre agent. En d'autres termes les actions sont les plans qu'a un agent.

- **Méthodes:** Elles sont définies comme dans UML, avec éventuellement des pré-conditions, post-conditions ou invariants.
- **Envoi et réception de messages:** La principale interface entre les agents et leur environnement est la réception et l'envoi de messages, ces messages peuvent être des classes ou des objets. Les messages sont représentés par :

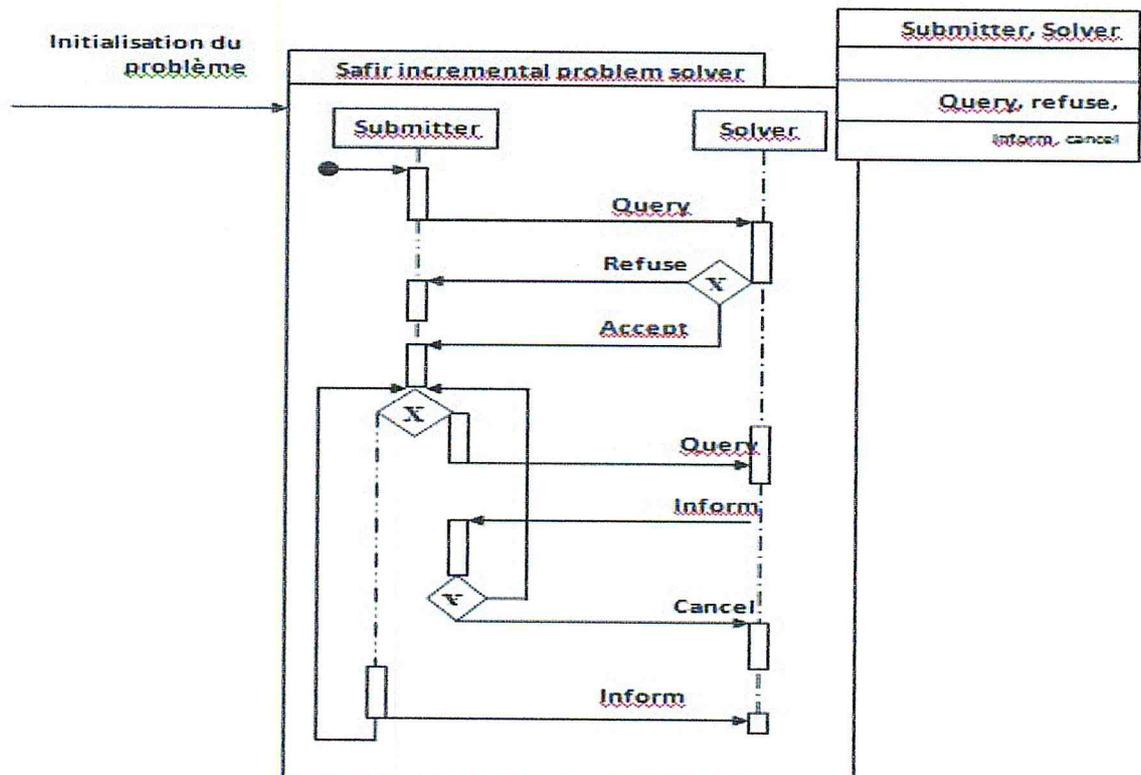


- **Agent-head-automata:** représente les changements d'état induits par les échanges de messages.

Il relie les messages entrants avec l'état interne, actions, méthodes et les messages sortants.

## 5.2. Protocole d'interaction (AIP : Agent Interaction Protocol)

Exemple de représentation :

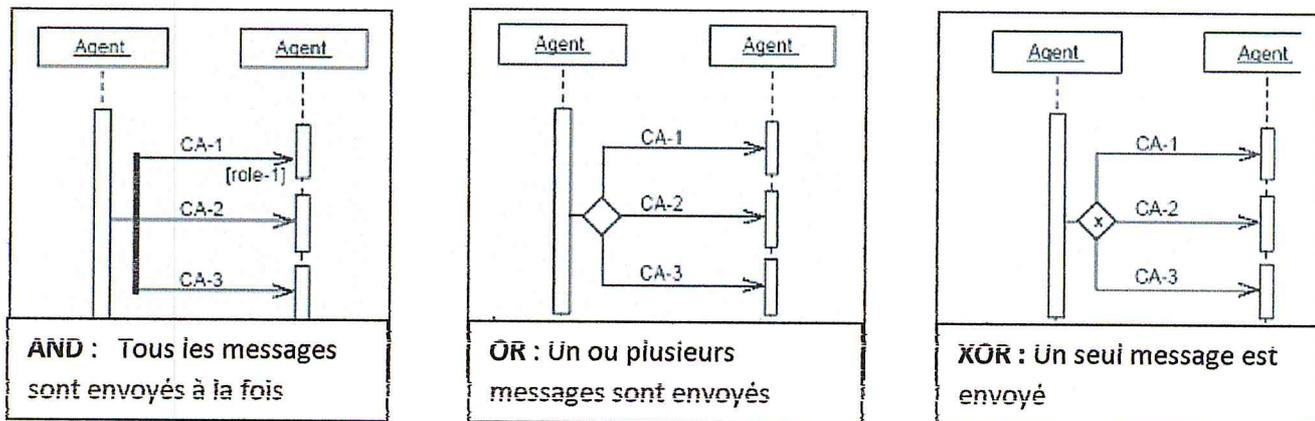


Dans le protocole de la figure ci-dessus, aucune précision n'est donnée sur le traitement ou la construction des messages :

- La construction de la requête (par Submitter) peut être un processus complexe décrit par un diagramme d'activités ;
- Le traitement de cette requête (par Solver) peut être décrit par un autre diagramme d'activités ou de séquence ;
- Le schéma ci-dessus est constitué de trois couches. Ce découpage en couches réifie les processus inter-agents et ceux internes à chaque agent ;
- Le protocole est la couche supérieure représentée sous forme d'un package ou d'un Template ;
- Les échanges entre agents sont la deuxième couche.

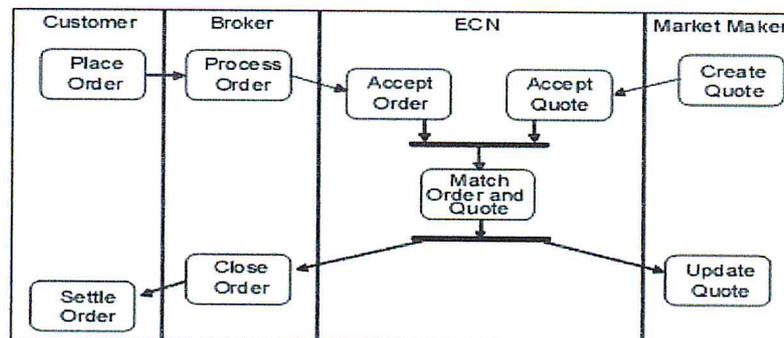
### 5.3. Diagramme de séquences :

- Nommage des acteurs : nom agent/rôle : Class
- Les messages échangés ne sont plus des noms de méthodes mais des actes de communications,
- Utilisation des threads d'interactions concurrents : AND, OR, XOR



### 5.4. Diagramme d'activités ;

Décrit les opérations entre agents et les événements qui les déclenchent.



ECN :Electronic Commerce Network

Les traitements internes de l'agent constituent la troisième couche :

- Diagramme d'activité pour chaque agent,

## **6. Les limitations d'AUML**

AUML présente les limitations ci-après:

- Les diagrammes sont désordonnés et peuvent être mal interprétés ;
- L'expression de toutes les informations nécessaires sur les protocoles peut les rendre illisibles;
- Les cas de redondance sont difficiles à identifier et corriger ;
- La description des actions temporelles (telles que le timeout, deadline, ...) est difficile à exprimer
- La notion d'historique des échanges n'existe pas ;
- La terminaison des interactions n'est pas toujours spécifiée.

## **7. CONCLUSION**

Aujourd'hui AUML n'est pas encore un langage de modélisation fini et adopté par la communauté car aucune spécification finale n'a été publiée officiellement mais plusieurs publications sur des extensions d'UML ont été publiées par les membres du groupe.

Actuellement, leurs travaux se concentrent sur les interactions, plus spécifiquement sur les protocoles d'interaction, mais aussi sur d'autres aspects connexes comme les langages d'interaction, la coordination, les rôles des agents. D'autres travaux portent également sur les architectures, et les ontologies.

## Bibliographie

- [ADA, 08] : Emmanuel ADAM, *Systèmes multi-agents : éléments introductifs*, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis France, 2008.
- [ALL, 05] : Nicolas Durand , Jean-Marc Alliot, *Algorithmes génétiques*, 2005.
- [BAR, 03] : Farah Abdel Majid BARIKA, *Vers un IDS Intelligent à base d'Agents Mobiles*, Université de Tunis, 2003.
- [BIN, 86] : BINMORE, K .G, A.RUBINSTEIN, *The Nash Bargaining Solution in economic Modeling*, 1986.
- [BOI, 01a] : Olivier BOISSIER, *Systèmes multi-agents (Organisation)*, ENS Mines Saint Etienne, 2001.
- [BOI, 01b] : Olivier BOISSIER, *Systèmes multi-agents (environnement)*, ENS Mines Saint-Etienne, 2001.
- [BOI, 01c] : Olivier BOISSIER, *Systèmes multi-agents (coordination)*, ENS Mines Saint-Etienne, 2001.
- [BON, 09] : Elise Bonzon, *Introduction à la théorie des jeux*, Septembre 2009.
- [BRI, 01] : Jean-Pierre BRIOT, Yves DEMAZEAU, *Introduction aux agents : Principes et architecture des systèmes multi-agents*, Collection IC2, Hermès, 2001.
- [BRU, 06] : Bruno Beauflis, *Théorie des jeux, Partie A, Introduction à la théorie des jeux, Intelligence artificielle & intelligence collective*, Laboratoire d'Informatique Fondamentale de Lille, Année 2006-2007,
- [CHE, 04] : CHERIFI Abdrezek & BENSQALEM Ridha, *Approche de navigation collective basée sur l'apprentissage par renforcement d'un groupe de robots mobiles autonomes*, 2004.
- [CHI, 09] : Chin-Bun Tse, *Using Game Theory to Re-examine Dividend Signalling Theory*, 2009.
- [COU, 08] Rémy courdier, *systèmes multi-agents -partic2-agents et systèmes multi agents*, Université de la Réunion, 2008.
- [COU, 05] : Rémy COURDIER, *Systèmes multi-agents : Intelligence artificielle et intelligence collective*, 2005, (<http://www.univ-reunion.fr/~courdier/>).
- [DAS, 03]: Mehdi DASTANI, Amal El Fallah SGHROUCHNI, *Programming Multi Agents Systems*, First

International Workshop, ProMAS, 2003.

- [DAU, 06] : DAURES Nicolas, Etude de la simulation de systèmes multi- agents pour la conception vivante d'agents dans la méthode ADELFE, « Intelligence Artificielle : Raisonnement, Coopération, Langage », 2005-2006.
- [DAV, 00] : DAVIN M.KREPS, Théorie des jeux et modalisation économique, 11/10/2000.
- [DEM, 93] : Y.DEMAZEAU, *La plate forme PACO et ses applications*, 21em journée nationale du PRC-IA sur les systèmes multi-agents, Montpellier, 1993.
- [DER, 07] : Julien DERVEEUW, Simulation multi agents de marchés financiers, Doctorat de l'Université des Sciences et Technologies de Lille, le 14 janvier 2008.
- [DES, 07s] : Université d'Artois, THEORIE DES JEUX, J-B Desquilbet.2007.
- [DJA, 08] : DJAMA TANIA- MOSBAH SAMY, Modélisation multi-agent par écoute flottante d'un marché Financier (INI), 2008.
- [DRO, 05] : DROGOUL, *Systèmes multi-agents*, Université de Paris-6, 2005.
- [ERW, 03] : ERWEN Livolant, Apprentissage Multi-Agent par le système de classeurs, 30 Septembre 2003.
- [EUR, 07] : Euronext, Marchés au comptant : Les ordres de bourse, février 2007.
- [FER, 95] : Jacques FERBER, *Les systèmes multi-agents vers une intelligence collective*, InterEditions, 1995.
- [GLI, 10] : Abdelkader Gliz, Théorie des jeux et économie de l'information, Ecole supérieure des commerces, octobre 2010.
- [HOL, 94] : Palmer, R., Arthur, W., Holland, J., LeBaron, B., and Tayler, P.. Artificial economic life: A simple model of a stockmarket. *Physica D*, 75:264–274, 1994.
- [JOU, 05] : Moez JOUDI, Bourse des valeurs et marché financier, ENSTA Cours EA 202, Année 2005/2006.
- [LAM, 04] ART Artificial Reasoning Toolkit: How To Use Authors: Marco Lamieri ([lamieri@econ.unito.it](mailto:lamieri@econ.unito.it)) Gianluigi Ferraris ([ferraris@econ.unito.it](mailto:ferraris@econ.unito.it)), 20 December, 2004.
- [MAT, 05] : Mathieu, P., Picault, S., and Routier, J.-C. (2005). Les agents intelligents. *Pour la*

*Science*, 332 :44–51.

- [MCM, 96] : McMillan John, *Games, Strategies and Managers*, 1996.
- [MEN, 09] : MENASRI Raouf, MEKHALLET Nabil, *Modélisation et simulation par multi-Agent d'un marché financier. Etude de l'hétérogénéité de la spéculation financière*, Mémoire ingénieur, 2009-2010.
- [MLI, 09] : MLIKI MOUNA & SLITI HAJER, UNIVERSITE DE TUNIS INSTITUT SUPERIEUR DE GESTION Mémoire de fin des études en science de gestion, option : finance. Elaborer par : Melle, 2009.
- [NDA, 09] : Ndayishimiye Joseph & mpwaji Frank Lawrence, *Modélisation et Simulation par multi-agent d'un système de paiement interbancaire (RTGS)*, Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en informatique, Université des Sciences et Technologie Houari Boumediene, 2010.
- [PIC, 04] : Noémy PICARD, Université de Mont-Saint-Aignan, *Mémoire de stage*, 2004.
- [REJ, 05] : Lilia REJEB, *Simulation multi-agents de modèles économiques Vers des systèmes multi-agents adaptatifs*, THESE, pour l'obtention du Doctorat de l'Université de Reims Champagne-Ardennes (Spécialité : Informatique), 15 décembre 2005.
- [RIC, 01] : Pierre-Michel RICORDEL, *Programmation Orientée Multi-Agents - Développement et Déploiement de Systèmes Multi-Agents Voyelles*, Institut National Polytechnique de Grenoble, 2001.
- [ROG, 87] : Robert Cobbaut, (1987), *théorie financière*, Paris.
- [SHM, 10] : Cours de théorie des jeux par Shmuel ZAMIR & Rida LARAKI.2010.
- [TAN, 05] : Sattisvar TANDABANY, *Méthode de programmation orienté Agent*, 2005.
- [THI, 04] : Thierry Pénard, *La théorie jeux et les outils d'analyse des comportements stratégiques*, Octobre 2004.
- [VAI, 81] : CA.Vailhen, *évaluation de l'entreprise et coût du capital*, 1981.
- [VAN, 72] : James .C .Van Horne, *gestion et politique financière*, 1972.

## Web-graphie

- [WEB 01]: <http://www.lexinter.net>
- [WEB 02]: <http://www.edubourse.com/lexique/marche-obligataire.php>
- [WEB 03]: <http://perspective.usherbrooke.ca/bilan/servlet/BMDictionnaire?iddictionnaire=1551>
- [WEB 04]: <http://www.dicodunet.com/definitions/economie/action.htm>
- [WEB 05]: <http://www.mbi-bourse.com/encyclopedie-bourse/roles-bourse.htm>
- [WEB 06]: <http://www.edubourse.com>
- [WEB 07]: [http://www.fimarkets.com/pages/produits\\_financiers.php](http://www.fimarkets.com/pages/produits_financiers.php)
- [WEB 08]: <http://www.leleux.be/leleux/JLCHome.nsf/web+view/JLCDN1924?Opendocument&fr>
- [WEB 09]: <http://www.bis.org/publ/rpfx10t.htm>
- [WEB 10]: <http://definition.actufinance.fr>
- [WEB 11]: <http://www.euronext.com/editorial/wide/editorial-1689-FR.html>
- [WEB 12]: <http://definition.actufinance.fr/dividende-322/>
- [WEB 13]: [www.spot-bourse.com](http://www.spot-bourse.com)
- [WEB 14]: <http://www.sciences.ch/htmlfr/mathssociales/mathssthdecision01.php>
- [WEB 15]: [http://www.vernimmen.net/html/glossaire/definition\\_theorie\\_des\\_signaux.html](http://www.vernimmen.net/html/glossaire/definition_theorie_des_signaux.html)
- [WEB 15]: <http://dhenriet.perso.centrale-marseille.fr/micro/Chapitre1/Chapitre1.htm>
- [WEB 16]: [http://zonecours.hec.ca/documents/H2008-1-1574399.theorie\\_jeux.doc](http://zonecours.hec.ca/documents/H2008-1-1574399.theorie_jeux.doc)
- [WEB 17]: [http://www.enib.fr/~buche/public/article/TSI\\_SC\\_06.pdf](http://www.enib.fr/~buche/public/article/TSI_SC_06.pdf)
- [WEB 18]: <http://www.bioinfo-biostats-etudiants.sud.fr/Ressources/Cours/Master%202/FDSDH/Cours3.pdf>
- [WEB 19]: <http://wcours.gel.ulaval.ca/2007/h/19968/default/5notes/Intro-AG.pdf>
- [WEB 20]: <http://www.lecactusheuristique.com/article-24209600.html>
- [WEB 21]: <http://20-notes-sur-java-pour-le-web.over-blog.com/article-3279214.html>
- [WEB 22]: <http://www.auml.org/>