

THESE

présentée à

L'UNIVERSITE DE PAU ET DES PAYS DE L'ADOUR

**ECOLE DOCTORALE DES SCIENCES EXACTES ET DE
LEURS APPLICATIONS**

par

Mahmoud Tchikou

POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR

Spécialité : **INFORMATIQUE**

**UN ENVIRONNEMENT DE CONCEPTION
MULTI AGENTS POUR LE PILOTAGE DES
SYSTEMES DE PRODUCTION**

Après avis de :

M. ESPINASSE Bernard	Professeur, Université d'Aix-Marseille
M. MANDIAU René	Professeur, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis
M. QUINQUETON Joël	Professeur, Université Paul Valéry Montpellier III

Devant la commission d'examen formée de :

M. CAUSSE Bernard	Professeur, Université de Pau et des Pays de l'Adour
M. GOUARDERES Eric	Maître de Conférences, Université de Pau et des Pays de l'Adour
M. GRABOT Bernard	Professeur, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes

Résumé

Les entreprises opèrent aujourd'hui dans des marchés en constante évolution caractérisés par des cycles de vie de plus en plus courts et un accroissement des exigences de flexibilité. Ces entreprises nécessitent des systèmes de pilotage basés sur des nouveaux principes, ayant des nouvelles caractéristiques, telles que la flexibilité, la réactivité, l'émergence, la robustesse, l'auto organisation, et la décentralisation. Dans ce contexte, le système de pilotage est considéré comme une organisation dynamique. Les systèmes multi-agents (SMA) semblent particulièrement bien adaptés pour la modélisation de la dynamique de l'organisation des entreprises, et pour l'étude des changements organisationnels qui s'y produisent.

Le but de cette thèse est de proposer une approche et un modèle pour faciliter la conception des systèmes de pilotage moderne. Nous avons proposé un modèle basé sur des concepts organisationnels tels que les groupes et les rôles, et des concepts d'interaction de la FIPA (Foundation for intelligent physical agents) tels que les protocoles. Il permet une description simple de structures d'organisations et d'interactions quel que soit le niveau considéré (cellule, Atelier, Entreprise). Notre modèle SMA permet d'élaborer des systèmes de pilotage décentralisés plutôt que centralisés, émergents plutôt que planifiés, et concurrents plutôt que séquentiels. Ce travail décrit également la plate-forme, basée sur les spécifications de la FIPA qui prend en compte les principes d'inter-pilotage, nécessaire pour le support d'organisations en réseau telles que les chaînes logistiques. Le respect des spécifications de la norme FIPA permet de résoudre la problématique liée à la standardisation. Le modèle proposé est garant de l'interopérabilité.

Les efforts de formalisation permettent de rendre les concepts d'interaction et d'organisation plus accessibles, génériques, réutilisables, proches des besoins et compréhensibles pour tout concepteur de systèmes de pilotage. Le formalisme retenu est le graphe CATN (Coupled Augmented Transition Network). Le modèle est développé sous la plate-forme JADE, permettant l'implantation directe du modèle au standard FIPA, assurant ainsi la standardisation de la plate-forme. Plusieurs simulations réalisées, ont permis de tester notre modèle.

Table des matières

Remerciements	3
Résumé	5
Table des matières.....	7
Introduction générale	15
Chapitre 1 : Problématique des systèmes de production et contexte de l'étude.....	21
1 Introduction	21
2 Définitions.....	22
2.1 L'entreprise	22
2.2 Les systèmes de production et leur gestion.....	22
2.2.1 Le système de production.....	22
2.2.2 Pilotage des systèmes de production	24
3 Analyse fonctionnelle du pilotage de la production	25
3.1 La gestion prévisionnelle.....	25
3.2 Le pilotage temps réel.....	26
3.3 Problématique liée à l'analyse fonctionnelle.....	27
4 Analyse structurelle des systèmes de pilotage	28
4.1 Différentes structures de pilotage	28
4.2 Problématique liée à l'analyse structurelle du pilotage	33
5 Contexte industriel et étude typologique.....	34
5.1 Typologie du produit.....	34
5.1.1 Type d'un produit suivant leur destination	34
5.1.2 Type de produit suivant leur élaboration	35
5.2 Modes et types de production et fabrication.....	36
5.2.1 Modes de production.....	36
5.2.2 Les types de production	36

5.2.3	Les types de fabrication.....	37
5.3	Types d'entreprises.....	38
5.3.1	Organisation et gestion de l'entreprise.....	39
5.3.2	Fonction production.....	39
5.3.3	Objectifs standard de l'entreprise.....	40
5.3.4	D'autres besoins nécessaires pour le pilotage (Les caractéristiques des systèmes de pilotage moderne).....	43
5.4	Problématique liée aux besoins de l'entreprise.....	47
6	Problématique liée à la mondialisation.....	48
7	Conclusion.....	49
Chapitre 2 : Les agents pour le pilotage des systèmes de production.....		53
1	Introduction.....	53
2	Les chaînes logistiques.....	54
2.1	Le concept de chaîne logistique.....	54
2.2	Gestion de flux dans les chaînes logistiques.....	55
2.3	La problématique liée à la standardisation.....	56
3	Les objectifs de la thèse.....	58
4	Motivation de l'utilisation des agents dans les systèmes de pilotage des systèmes de production.....	58
4.1	Définition d'un agent et d'un SMA.....	58
4.2	Pourquoi des agents pour le pilotage des systèmes de production.....	59
4.3	Applications des systèmes multi-agents sur les systèmes de pilotage des systèmes de production.....	61
4.4	Synthèse des travaux sur le pilotage avec les SMA.....	69
5	Conclusion.....	71
Chapitre 3 : L'organisation multi-agents pour le pilotage.....		76
1	Introduction.....	76
2	Une démarche opérationnelle pour le pilotage des systèmes de production.....	77
3	Un modèle multi-agents pour le pilotage des systèmes de production.....	78
3.1	Les modèles organisationnels.....	79
3.2	Le projet Aalaadin.....	79
3.2.1	Le modèle agent groupe rôle.....	80
3.2.2	Apports et limitations du modèle Aalaadin.....	82
3.3	Le modèle d'interaction SMA.....	84
3.3.1	Proposition d'un modèle de pilotage basé sur l'interactivité.....	84

3.3.2	Notion de conversation.....	86
3.3.3	Le système de communication.....	87
3.3.4	Protocole de négociation pour le pilotage.....	92
3.3.5	La notion de représentant et le protocole de délégation	93
3.3.6	Apports et Limites des systèmes de communication et négociation	94
3.4	Le lien entre le rôle et l'interaction dans le domaine du pilotage	95
3.5	Méthode	97
4	Vers une plate-forme standard pour le pilotage et l'inter-pilotage des organisations en réseau (Chaîne logistique).....	97
4.1	Une approche pour l'inter-pilotage	98
4.2	Architecture de la plate-forme	98
5	Illustration sur un exemple de cellule de production.....	100
5.1	Présentation de l'exemple.....	100
5.1.1	Description de la cellule	100
5.1.2	Problème à traiter	101
5.2	Application du modèle et principes de fonctionnement du système.....	102
5.2.1	La négociation entre pièce et ressources.....	103
	Le Contract-Net (Détail des performatifs et des actions)	104
5.2.2	Le déplacement de la pièce entre les machines.....	106
5.2.3	La coordination de plans entre ressources	106
5.2.4	La coordination de plans entre pièces	107
6	Conclusion	108
Chapitre 4 : Spécifications des comportements des agents pour le pilotage de la production		112
1	Introduction	112
2	Les agents et les modèles de leurs comportements	113
3	Problématique de la spécification du comportement des agents.	113
3.1	Formalismes de représentation de comportements d'agents.....	114
3.1.1	Approches par graphes d'états.	115
3.1.2	Approches par Réseaux de Pétri	121
3.1.3	Approche orientée-objet.....	123
3.2	Synthèse.....	127
3.2.1	Critique	127
3.2.2	Choix d'un formalisme.....	128
4	Spécification de comportements des agents pour le pilotage de la production.....	129
4.1	Le formalisme CATN.....	129
4.2	La représentation des rôles par les CATN.....	131

4.2.1	Les CATN des rôles élémentaires	131
4.2.2	Les CATN des rôles complexes.....	132
4.2.3	Les rôles émergent.....	132
4.3	L'architecture de l'agent contrôleur.....	132
4.3.1	Le module de communication	133
4.3.2	Le module de négociation	135
4.3.3	Le comportement générique d'un agent contrôleur (rôle complexe).....	136
4.4	L'implémentation des comportements d'agents contrôleurs.....	138
4.5	Problématique d'implémentation.....	139
4.5.1	Problématique intra-agent	139
4.5.2	Problématique inter-agent	139
5	Illustration sur un exemple de cellule de production.....	140
5.1	Le modèle de comportement des agents	140
5.1.1	Les CATN des agents machines	140
5.1.2	Les CATN des agents pièces	141
5.1.3	Les CATN des agents grues	142
6	Une perspective de génération de comportements adaptés à un contexte de production (Génération de graphe CATN).....	143
6.1	Le modèle Ethogenetics.....	144
6.2	La métaphore biologique	144
6.3	Ce qui a été réalisé du modèle Ethogenetics	145
6.4	Validation du modèle Ethogenetics	146
7	Conclusion	147
Chapitre 5 : Prototypage et validation du modèle SMA pour le pilotage des systèmes de production		152
1	Introduction	152
2	Plates-formes multi-agents.....	153
2.1	Critères de sélection.....	153
2.1.1	Critères généraux	154
2.1.2	Critères spécifiques	154
2.2	L'évaluation	155
2.3	Résumé des plates-formes.....	155
2.4	Résultats	162
2.4.1	Synthèse.....	162
2.4.2	Conclusion	163
3	Prototype.....	163

3.1	Application	163
3.2	Noyau.....	165
3.3	Les agents contrôleurs	166
3.4	Le simulateur Witness.....	167
3.5	Les résultats des simulations.....	169
3.5.1	Le pilotage en temps réel dès la date de commande	169
3.5.2	Indisponibilité d'un atelier de Production (fonctionnement dégradé)	172
3.5.3	L'introduction d'un nouveau objectif.....	175
4	Conclusion	177
	Conclusion générale.....	180
	Bibliographie.....	186
	Index des figures	204
	Index des Tableaux.....	208