

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 | | |
| 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 |