



Validation du comportement dynamique d'un système multi-agents : Application de l'éco-résolution à une cellule de production manufacturière

Christophe Sohier, Bruno Denis, Carole Vigny

► To cite this version:

Christophe Sohier, Bruno Denis, Carole Vigny. Validation du comportement dynamique d'un système multi-agents : Application de l'éco-résolution à une cellule de production manufacturière. 1ère conférence francophone de MOdélisation et de SIMulation : Systèmes de Production et de Logistique (MOSIM'97), Jun 1997, Rouen, France. pp.549-557. hal-03745340

HAL Id: hal-03745340

<https://hal.science/hal-03745340>

Submitted on 4 Aug 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Validation du comportement dynamique d'un système multi-agents : Application de l'éco-résolution à une cellule de production manufacturière

Christophe Sohier - Bruno Denis - Carole Vigny

LURPA - ENS de Cachan

61, avenue du Président Wilson

94235 Cachan cedex

RESUME : Pour contrôler les systèmes fortement réactifs, il est difficile d'assurer une planification des tâches. Les systèmes multi-agents réactifs apportent une solution à cette classe de problème. En répartissant l'objectif général du système dans un ensemble de comportements individuels, le concepteur évite le recours à la planification. En revanche, il lui est difficile d'avoir une idée du comportement global du système. Dans cette communication, après avoir proposé un modèle de comportement d'un agent, nous montrons comment un concepteur peut tirer parti d'un outil de validation de comportement des systèmes dynamiques pour valider un système multi-agents. Un exemple concernant la commande d'une cellule de production manufacturière servira de support à notre exposé.

ABSTRACT : In the reactive systems it could be difficult to plan tasks. Reactive multi agent system can solve this kind of problem. To skip planning work, multi agent system allows designers to distribute global system aim into local agent behaviour. Nevertheless it is difficult to get an actual idea of the global system behaviour. In this communication, we propose first a model of dynamic behaviour of an agent, and we shows how designers can deal with a tool of validation of discrete event system to validate a multi agent system. Un example in the filed of control of manufacturing cell of production will be used.

1. Introduction

L'environnement économique des ateliers de sous-traitance ou de prototype demande la gestion d'une grande variété de produits, la reconfiguration fréquente de l'outil de production et la minimisation des temps improductifs. Ces contraintes impli-

quent une flexibilité et une adaptativité de la commande du système de production afin de permettre une réaction aux événements de production ainsi qu'une exploitation aisée du système.

Une solution pour atteindre l'objectif de flexibilité et d'adaptativité ainsi que gérer la complexité de l'organisation est la planification en temps réel des actions de la cellule. Nos travaux sur la commande des cellules de production manufacturières nous ont conduits à rechercher des outils dans les domaines de l'intelligence artificielle distribuée et plus particulièrement l'utilisation des systèmes multi-agents pour les systèmes de production [KOU & PIER 95][PAT & al 95].

Une des problématiques de la conception à l'aide de système multi-agents (SMA) est la modélisation dynamique [PUR & CRAN 96] et la validation du comportement obtenu. En effet, l'intérêt des SMA est d'offrir une analyse locale et distribuée de la résolution de problème. En contrepartie, on ne dispose pas d'une approche globale propre à valider le comportement obtenu. Le concepteur se concentre uniquement sur la description des agents. Le comportement global du SMA sera le résultat des interactions entre les éco-agents.

Or le concepteur est en droit de vérifier que la conception n'aboutit pas à des comportements non cohérents (actions impossibles), des oscillations, des blocages et à l'obtention d'une solution correcte. Dans cet article nous proposons au concepteur une aide à la validation en phase de conception par un outil de simulation.

Après avoir décrit un exemple en section 2, nous proposons en section 3 un modèle détaillé du comportement dynamique d'un éco-agent. A l'aide de ce modèle d'un éco-agent nous montrons en section 4 comment un outil de validation a été utilisé comme simulateur du comportement global du SMA. Avant de conclure, nous mettons en évidence les avantages que cette simulation peut procurer en phase de conception.

2. Exemple : contrôleur d'une cellule de production manufacturière

2.1. Description de la cellule de production manufacturière

L'exemple présenté dans cet article est basé sur une des cellules de production de l'atelier flexible expérimental du LURPA. C'est une cellule de fraisage constituée des éléments suivants (cf. figure 1) :

- un centre de fraisage 4 axes permettant l'usinage de pièce prismatique, cet équipement est contrôlé par une commande numérique,
- un palettiseur associé à un poste d'échange permettant de recevoir des montages d'usinage, deux postes d'échange permettant de recevoir des plateaux support de pièces, les postes sont reliés au système logistique de l'atelier, cet ensemble d'équipements est contrôlé par un automate programmable,
- un robot manipulateur 5 axes permettant le transfert de pièce entre un plateau et un montage, cet équipement est contrôlé par une commande numérique,
- un calculateur Unix, qui assure la fonction de contrôleur de cellule.

La fonction du contrôleur de cellule est l'organisation cohérente des actions élémentaires de la cellule associées aux équipements pour répondre aux demandes de production.

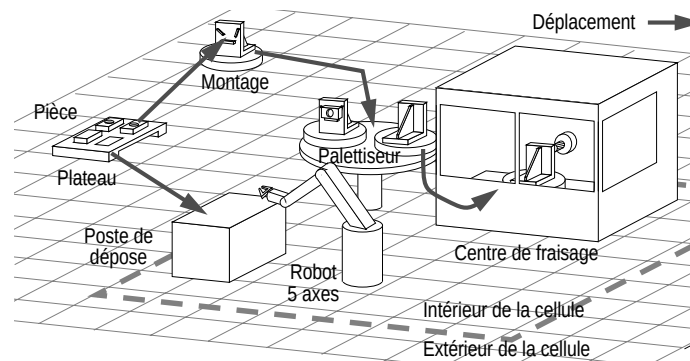


Figure 1. Représentation partielle de l'architecture physique de la cellule

2.2. Modélisation du contrôleur de cellule de production par SMA.

Pour modéliser le comportement du contrôleur de cellule nous avons utilisé un système multi-agents [SOH 96], l'éco-résolution [FER 89][BUR & al 91]. Chaque entité de la cellule est modélisée par un éco-agent (cf. figure 2). Chaque éco-agent est caractérisé

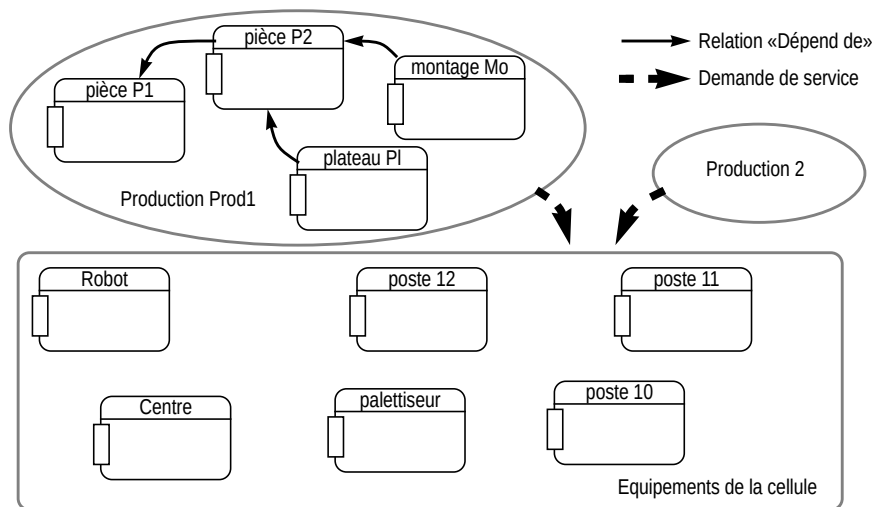


Figure 2. Modélisation multi-agents du contrôleur de cellule.

par un but qu'il doit satisfaire, par un comportement social (fuite, agression, satisfaction) associé à un état social interne, et par des relations de dépendances qui établissent une relation d'ordre partiel sur la satisfaction des éco-agents.

Les éco-agents dits «statiques» modélisent les équipements de la cellule. Une instance est créée une fois pour toute lors de la création du système multi-agents. Les éco-agents dits «dynamiques» modélisent les pièces et les ressources (montage, outil, programme d'usinage, ...) de la cellule. Des instances des éco-agents dynamiques sont créées lors de la résolution de problème. On définit un éco-problème comme un ensem-

ble d'instance d'éco-agents dynamiques avec leurs buts, leurs relations de dépendances et leur position initiale dans l'environnement. Un éco-problème modélise donc une production, c'est-à-dire un ensemble de pièces et de ressources ainsi qu'un objectif de production à atteindre.

L'éco-problème représentant la production Prod1 que nous utiliserons pour illustrer cet article est constitué des 4 éco-agents suivants : la pièce P1, la pièce P2, le montage Mo et le plateau Pl.

On définit les attributs d'un éco-agent comme l'ensemble de ses positions dans l'environnement de la cellule, l'ensemble de ses évolutions possibles entre ses positions, et son but à atteindre. Pour les 4 éco-agents de l'éco-problème Prod1 on a les positions suivantes :

- la pièce P1 peut être brute sur le plateau (P1B Pl), brute sur le montage (P1B Mo), usinée sur le montage (P1U Mo) ou usinée sur le plateau (P1U Pl),
- la pièce P2 peut être brute sur le plateau (P2B Pl), brute sur le montage (P2B Mo), usinée sur le montage (P2U Mo) ou usinée sur le plateau (P2U Pl),
- le montage Mo peut être hors de la cellule (Mo HC), sur le palettiseur (Mo Pal) ou sur le centre d'usinage (Mo Cu),
- le plateau Pl peut être hors de la cellule (Pl HC) ou sur un poste d'échange (Pl Pos).

Pour chaque évolution d'une position à une autre, on associe une action et des conditions qui permettent de réaliser cette action. Par exemple, pour l'éco-agent pièce P1, l'action de transfert permet de passer de la position brute sur plateau à la position brute sur montage (PB1 Pl -> Mo), et l'opération d'usinage permet de passer de la position brute sur montage à la position usinée sur montage (P1B -> P1U).

Une action est déclenchée lorsqu'un agent doit évoluer (recherche de satisfaction ou obligation de fuir) et lorsque les conditions nécessaires à l'exécution de l'action sont vérifiées. Par exemple, pour l'action PB1 P1 -> Mo, les conditions nécessaires à l'exécution sont : la pièce P1 doit être brute sur le plateau, le montage doit être sans pièce (traduit par le fait que la pièce P2 n'est pas sur le montage), le montage doit être sur le palettiseur et le plateau doit être sur le poste d'échange. Le non respect d'une de ces conditions se traduit par une agression vers l'éco-agent qui ne respecte pas cette condition.

Le but d'un éco-agent est défini par une position dans son environnement. Pour compléter la définition de l'éco-problème production Prod1, on définit les buts des 4 éco-agents et leur relation de dépendance de la façon suivante :

- la pièce P1 a comme but d'être usinée sur le plateau Pl,
- la pièce P2 a comme but d'être usinée sur le plateau Pl et possède une relation de dépendance avec P1, cette relation impose la satisfaction à P1 avant P2,
- le montage Mo a comme but d'être hors de la cellule et possède une relation de dépendance avec P2,
- le plateau Pl a comme but d'être hors de la cellule et possède une relation de dépendance avec P2.

Les agents statiques sont représentés par des demandes de services associées aux actions des éco-agents dynamiques. Dans cet exemple la production est terminée lorsque les 4 éco-agents ont atteint leur but c'est-à-dire lorsqu'ils sont satisfaits.

3. Modèle dynamique d'un éco-agent

Pour modéliser le comportement dynamique d'un éco-agent nous avons utilisé le Grafcet [UTE 93]. Car d'une part, le Grafcet permet la modélisation de la dynamique des systèmes, et d'autre part, nous disposons d'un outil de vérification de propriétés d'un grafcet par rapport à un cahier des charges [ROU & LES 96]. Dans notre cas, le cahier des charges est le comportement attendu de la cellule pour une production donnée. C'est cet outil de vérification qui nous permettra la simulation de notre production.

Nos travaux [SOH & al 96] ont permis de définir un modèle générique d'un éco-agent composé d'une interface et de 3 modules. Nous proposons un modèle grafcet du comportement dynamique associé à ce modèle générique. Un exemple de modèle grafcet associé à l'éco-agent pièce P1 est donné figure 3.

Le module générique de gestion du comportement social est représenté par le graphe de gestion du comportement social, sa structure générique montre les évolutions entre les états sociaux internes. Ces évolutions sont associées à des événements externes venant d'autres éco-agents (Conditions d'agression de P1, Dépendances de P1 OK) ou à des événements internes (fuite de P1 terminée, but de P1 satisfait).

Le module spécifique de gestion des actions est représenté par les graphes de gestion des actions. On a un graphe par action, les conditions d'évolution du graphe sont associées à un événement interne (condition d'évolutions de P1 : une recherche de satisfaction ou une obligation de fuir), la position de P1 et des conditions associées aux positions d'autres éco-agents. Par exemple pour l'action PB1 P1 -> Mo la pièce P1 doit être brute sur le plateau et une des conditions est que la pièce P2 ne doit pas se trouver sur le montage Mo. C'est la condition d'évolution de P1 et le non respect de la condition associée à la pièce P2 qui définissent une des conditions d'agression de la pièce P2.

Le module spécifique de gestion des attributs est représenté par les graphes de gestion des attributs. On retrouve le graphe décrivant les positions possibles de la pièce P1 ainsi que les évolutions d'une position vers une autre. Ce graphe évolue dès que l'action permettant de changer de position est terminée. Nous avons également un ensemble d'étapes seules (autant que de position pour un éco-agent) dont la fonction est de mémoriser les éventuels buts à atteindre. Dans l'exemple, le but de la pièce P1 est mémorisé par l'étape initiale X1_23 (étape possédant un double cadre). Et enfin, un graphe de coordination assure le séquençement des évolutions.

L'interface est représentée par la possibilité du modèle grafcet d'accéder directement aux états des différents graphes. C'est pour cette raison qu'aucun graphe ne représente le comportement dynamique de l'interface. Nous disposons d'un modèle similaire à la pièce P1 pour la pièce 2, et des modèles pour le montage Mo et le plateau Pl.

4. Simulation

4.1. Présentation de l'outil de simulation

L'outil d'analyse AGGLAÉ (analyse de grafkets par génération logique de l'automate équivalent) [ROU 94] permet la génération automatique de l'automate fini équivalent au modèle grafcet. Cet automate est un «graphe des situations accessibles» (G.S.A.)

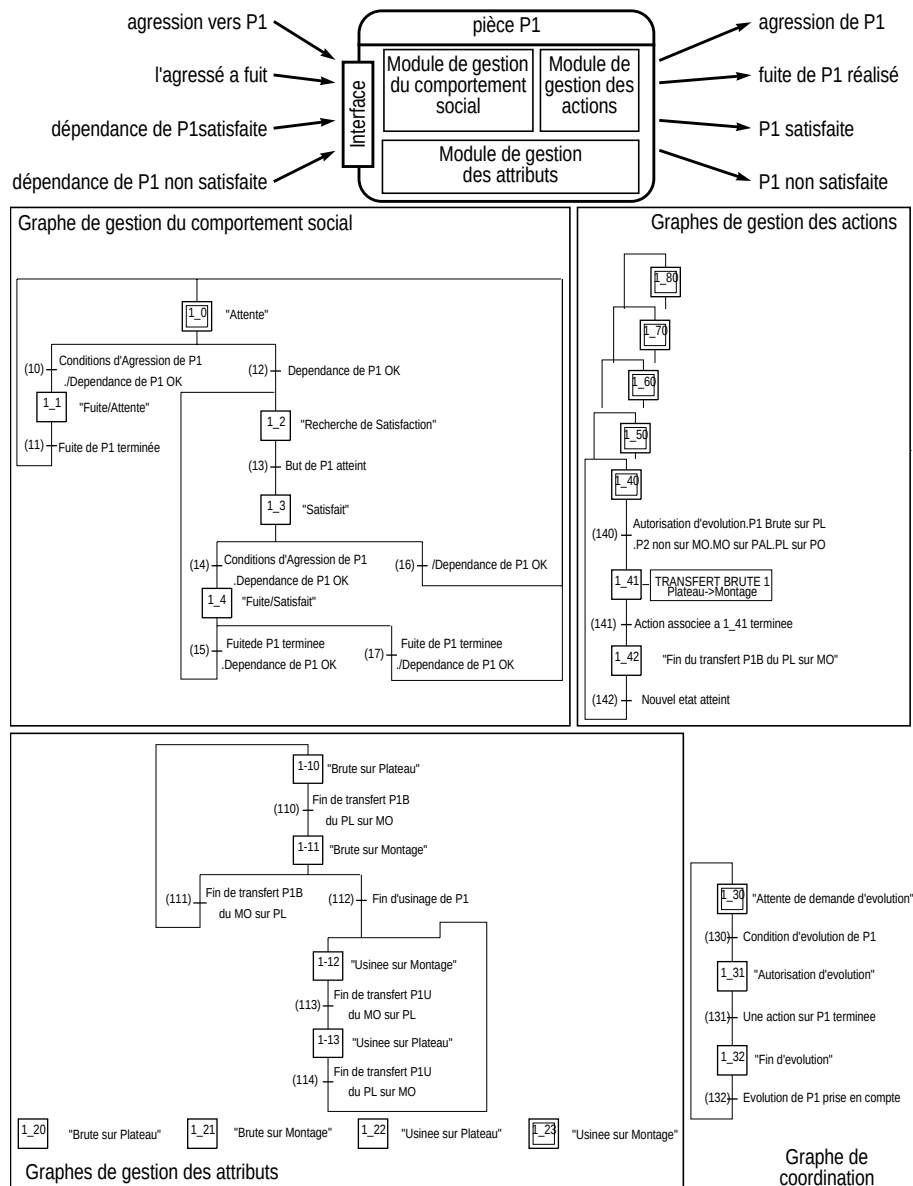


Figure 3. Modèle grafcet du comportement dynamique de l'éco-agent pièce P1.

par le système modélisé. Chaque état du graphe représente une situation accessible, c'est-à-dire un ensemble d'étapes actives à un même instant. Chaque transition de l'automate représente un ensemble de transitions simultanément franchies du grafcet qui amènent le système d'une situation à une autre. Grâce à cette représentation du comportement, AGGLAÉ offre un ensemble d'outils de vérification de propriété du sys-

tème modélisé. AGGLAÉ va ainsi nous permettre d'explorer le comportement du système multi-agents.

4.2. Génération de la simulation

Le modèle global du SMA est obtenu par assemblage des 4 modèles des éco-agents pièce P1, pièce P2, montage Mo et plateau Pl. Nous voulons également simuler la résolution de l'éco-problème Prod1 pour l'ensemble des positions initiales des éco-agents. Si on réalise l'ensemble de la combinatoire des positions initiales moins les positions qui n'ont pas de sens physique pour notre exemple (en effet 2 pièces ne peuvent pas se trouver sur le même montage) on identifie 72 positions initiales différentes. On rajoute au modèle global un graphe permettant d'initialiser les 4 éco-agents pour l'ensemble des positions initiales à simuler.

En entrée de simulation on a la description de l'éco-problème (la liste et les buts des éco-agents, les relations de dépendances), les modèles grafcet des 4 éco-agents, et l'ensemble des états initiaux des agents. Avec ces données, le simulateur génère automatiquement le GSA de notre éco-problème. En sortie de simulation nous disposons du GSA qui représente l'ensemble des évolutions possibles des agents. C'est à partir du GSA que font se faire les analyses et les validations du comportement dynamique attendu.

4.3. Analyse des résultats de simulation

A partir du GSA, il est maintenant possible de vérifier des propriétés sur les graphes d'origine (les grafkets). En effet, le GSA peut être représenté par un graphe orienté dont les sommets sont les situations et les arcs l'ensemble des transitions.

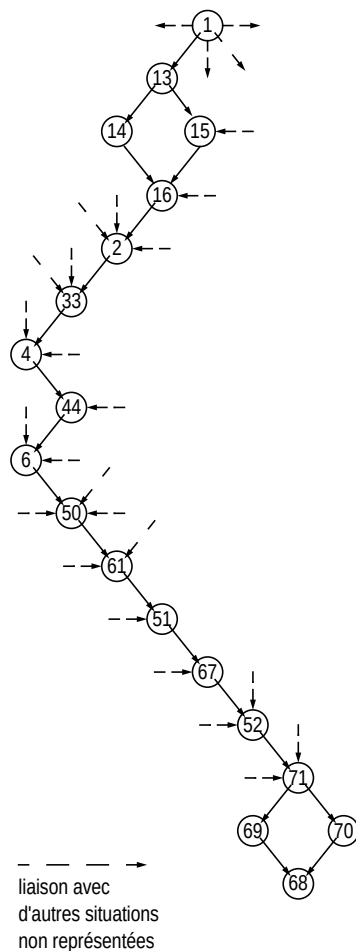
La simulation de l'éco-problème Prod1 se compose d'un graphe à 73 états et 170 transitions dont une représentation graphique partielle (19 états et 20 transitions) est donnée figure 4. Le sous-ensemble représenté correspond à la position de départ suivante : la pièce P1 est brute sur le plateau Pl, la pièce P2 brute est sur le montage Mo, le montage Mo et le plateau Pl sont hors de la cellule. La situation de départ porte le No 1 (la numérotation des situations est issue de l'outil de génération et ne traduit aucune relation d'ordre).

Sur le graphe complet les types de propriétés que nous avons validées sont les suivantes :

- recherche de situations puits, c'est-à-dire des situations dont ne part aucun arc, ces situations correspondent soit à la solution soit à des blocages, c'est-à-dire plus de possibilité d'évolution (une seule situation puits No 68 qui correspond à la satisfaction de chaque agent, c'est-à-dire lorsque l'éco-problème est résolu),
- recherche de boucles, des boucles dans le GSA mettent en évidence des oscillations, c'est-à-dire des suites d'actions qui ne permettent pas de converger vers la solution (pas de boucle dans le comportement du SMA modélisé),

AGGLAÉ offre également au concepteur du SMA la possibilité de valider l'existant ou l'absence de situations particulières du système modélisé :

- recherche de situations particulières, par exemple existe-t-il des situations où les 2 pièces se trouvent sur le montage (position incohérente),



S : Satisfait, RS : Recherche de satisfaction, F : Fuite, A : Attente

Situation	Pièce P1	Pièce P2	Montage Mo	Plateau PI
1	A	A	A	A
13	RS	F	F Mo HC -> Pal	F PI HC -> Pos
14	RS	F	F Mo HC -> Pal	A
15	RS	F	A	F PI HC -> Pos
16	RS	F P2B Mo -> PI	A	A
2	RS P1B PI -> Mo	A	A	A
33	RS	A	F Mo Pal -> Cu	A
4	RS P1B -> P1U	A	A	A
44	RS	A	F Mo Cu -> Pal	A
6	RS P1U Mo -> PI	A	A	A
50	S	RS P2B PI -> Mo	A	A
61	S	RS	F Mo Pal -> Cu	A
51	S	RS P2B -> P2U	A	A
67	S	RS	F Mo Cu -> Pal	A
52	S	RS P2U Mo -> PI	A	A
71	S	S	RS Mo Pal -> HC	RS PI Pos -> HC
69	S	S	S	RS PI Pos -> HC
70	S	S	RS Mo Pal -> HC	S
68	S	S	S	S

Figure 4. Extrait de la représentation graphique du GSA et tableau des actions associées.

- recherche d'actions particulières, par exemple existe-t-il des situations où le montage est déplacé en même temps que la pièce est transférée sur celui-ci (action incohérente),
- recherche de chemin particulier permettant d'analyser les évolutions des éco-agents entre deux situations particulières (de l'état initial jusqu'à la solution).

De même puisque l'on connaît l'ensemble des conditions associées aux transitions, nous connaissons les événements qui ont conduit à cette évolution, et permettent de comprendre les raisons de l'évolution (fin d'une action, une agression, ...).

Le tableau est extrait de l'analyse des situations du GSA. En effet puisque chaque situation est constituée de la liste des étapes actives, nous connaissons l'état et le comportement de chacun des éco-agents, ce qui permet de suivre finement leurs évolutions.

Le tableau de la figure 4 décrit cette évolution. Chaque ligne du tableau permet de suivre le comportement des éco-agents (état interne/action réalisée).

5. Conclusion

La validation du comportement dynamique du SMA est obtenue par la simulation du modèle dynamique de productions types sur la cellule de production. Cette simulation a également permis de détecter des erreurs de conception de comportement de la cellule (condition incomplète associée à des actions). Par contre le grafcet ne permet pas de décrire l'apparition dynamique d'éco-agents, ce qui limite cette modélisation aux systèmes où l'ensemble des éco-agents doit être identifié.

6. Bibliographie

- [BUR & al 91] BURA S., DROGOUL A., FERBER J., JACOPIN E., «Eco-résolution : un modèle de résolution de problèmes par interactions», Actes de R.F.I.A., Lyon, 1991.
- [FER 89] FERBER J., «Eco problem solving : how to solve a problem by interactions», Proceeding of the ninth workshop on distributed artificial intelligence, Rosario Resort, Eastsound, Washington, September 1989, pp. 113-128.
- [KOU & PIER 95] KOUIS K., PIERREVAL H., «Systèmes multi-agents : direction actuelles pour les systèmes de production», La productivité dans un monde sans frontière, Congrès Int. de Génie Industriel de Montréal, Québec, Octobre 1995.
- [PAT & al 95] PATRITI V., GARRO O., CHARPENTIER P., «Application des SMA à la fabrication : cas de SHIVA, machine à architecture parallèle», 3ième Journée Francophone sur l'IAD et les SMA, St. Bandolf, France, 1995, pp. 66-78.
- [PUR & CRAN 96] PURVIS M., CRANFIELD S., «Agent modelling with petri nets», CESA'96 IMACS Multiconference, Computational Engineering in Systems Applications, Symposium on Discrete Events and Manufacturing Systems, Lille, France, July 9-12 1996, pp. 602-607.
- [SOH 96] SOHIER C., «Pilotage des cellules adaptatives de production : apport des systèmes multi-agents», thèse de doctorat de l'ENS de Cachan en Génie Mécanique, France, janvier 1996.
- [SOH & al 96] SOHIER C., DENIS B., BOURDET P., «Applying eco problem solving to the control of an adaptive manufacturing cell», CESA'96 IMACS Multiconference, Computational Engineering in Systems Applications, Symposium on Discrete Events and Manufacturing Systems, Lille, France, July 9-12 1996, pp. 710-715.
- [ROU 94] ROUSSEL J.M., «Analyse de grafjets par génération logique de l'automate équivalent», thèse de doctorat de l'ENS de Cachan, France, 16 Décembre 1994.
- [ROU & LES 96] ROUSSEL J.M., LESAGE J.J., «Définition d'un cadre formel pour l'expression et la vérification de propriétés d'un modèle grafjet», Actes du Congrès Modélisation des Systèmes Réactifs MSR'96, Brest, 28-29 Mars 1996, pp. 229-237.
- [UTE 93] UTE C 03-191, «Etablissement des diagrammes fonctionnels pour système de commande : Diagramme fonctionnel «GRAFJET» - Extension des concepts de base», Edité par l'Union Technique de l'Electricité, 92052 Paris la Défense cedex 64, juin 1993.